



**TUGAS AKHIR - TF 141581**

# **RANCANG BANGUN ROV (*REMOTELY OPERATED VEHICLE*) MENGGUNAKAN MOTOR AC *SINGLE- PHASE***

**ROBBY KURNIAWAN  
NRP 2413.105.022**

**Dosen Pembimbing :  
Harsono Hadi Ph.D  
Ir. Wiratno Argo Asmoro, MSc**

**Departemen Teknik Fisika  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2017**

*“Halaman ini memang dikosongkan”*



***FINAL PROJECT TF 141581***

***DESIGN ROV(REMOTELY OPERATED VEHICLE)  
USING SINGLE-PHASE AC MOTORS***

***ROBBY KURNIAWAN  
NRP 2413.105.022***

***Advisor Lecturer :  
Harsono Hadi Ph.D  
Ir. Wiratno Argo Asmoro, MSc***

***Departement of Engineering Physics  
Faculty of Industrial Technology  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya  
2017***

*“Halaman ini memang dikosongkan”*

## PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

Saya yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Robby Kurniawan  
NRP : 2413105022  
Departemen / Prodi : Teknik Fisika / S1 Teknik Fisika  
Fakultas : Fakultas Teknologi Industri  
Perguruan Tinggi : Institut Teknologi Sepuluh  
Nopember

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul “Rancang Bangun ROV (*Remotely Operated Vehicle*) Menggunakan Motor AC *Single-Phase*” adalah benar karya saya sendiri dan bukan plagiat dari karya orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti terdapat plagiat pada Tugas Akhir ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, 24 Juli 2017  
Yang membuat pernyataan,



Robby Kurniawan  
NRP. 2413 105 022

**LEMBAR PENGESAHAN  
TUGAS AKHIR**

**RANCANG BANGUN ROV (*REMOTELY OPERATED  
VEHICLE*) MENGGUNAKAN MOTOR AC  
SINGLE-PHASE**

**Oleh :**

**Robby Kurniawan  
NRP. 2413 105 022**

**Surabaya, 24 Juli 2017**

**Menyetujui,  
Dosen Pembimbing I**

  
**Harsono Hadi Ph.D  
NIPN. 196001191986111001**

**Menyetujui,  
Dosen Pembimbing II**

  
**Ir. Wiratno Argo Asmoro, MSc  
NIPN. 196002091987011001**

**Mengetahui,  
Ketua Departemen  
Teknik Fisika FTI-ITS**

  
  
**Agus Muhammad Hatta, S.T., M.Si., Ph.D.  
NIPN. 197309022003121002**

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

**RANCANG BANGUN ROV (*REMOTELY OPERATED  
VEHICLE*) MENGGUNAKAN MOTOR AC  
SINGLE-PHASE**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada

Bidang Studi Rekayasa Akustik dan Fisika Bangunan  
Program Studi S-1 Departemen Teknik Fisika  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**Robby Kurniawan**  
**NRP. 2413 105 022**

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

- 1 Harsono Hadi Ph.D ..... (Pembimbing I)
- 2 Ir. Wiratno Argo Asmoro, MSc ..... (Pembimbing II)
- 3 Hendra Cordova, ST. MT ..... (Penguji I)
- 4 Ir. Tutug Dhanardono, MT ..... (Penguji II)

**SURABAYA,  
JULI, 2017**



*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

# **RANCANG BANGUN ROV (*REMOTELY OPERATED VEHICLE*) MENGGUNAKAN MOTOR AC *SINGLE-PHASE***

**Nama Mahasiswa** : Robby Kurniawan  
**NRP** : 2413 105 022  
**Departemen** : Teknik Fisika FTI-ITS  
**Dosen Pembimbing** : 1. Harsono Hadi Ph.D  
2. Ir. Wiratno Argo Asmoro, MSc

## **Abstrak**

Indonesia dengan predikat negara kepulauan, mempunyai wilayah perairan yang begitu luas. Eksplorasi yang dilakukan saat ini rata-rata sebatas permukaan air, sedangkan eksplorasi bawah air masih sangat jarang dilakukan. Pemanfaatan robotika dalam bidang kelautan dan perkapalan diharapkan dapat membantu dalam eksplorasi bawah air. Robot yang biasa digunakan untuk membantu eksplorasi tersebut adalah robot air (*underwater robot*). Robot air yang berbasis ROV (*Remotely Operated Vehicle*) di negara-negara maju sudah dimanfaatkan dalam eksplorasi bawah air. ROV tersebut dinilai lebih optimal dalam pengeksplorasian bawah air dibanding dengan cara konvensional.

Pada tugas akhir ini yang ingin dilakukan adalah bagaimana membuat dan mensimulasikan aerodinamis dari ROV. Pertama adalah membuat ROV, kedua mengkalibrasi semua sensor baik sensor suhu LM35 , MPX5700AP. Agar data ini bisa digunakan untuk menentukan kecepatan sumber bunyi di air.

Berdasarkan pengambilan data didapatkan *rudder* pada ROV mampu bergerak antara 0° sampai 180°. Pada sensor MPX5700AP masih mengalami error yang sangat besar yaitu antara yaitu - 267.92 % sampai 94 %. Volume total ballast pada saat tidak terisi air 0.081312 m<sup>3</sup>. Nilai error yang dihasilkan pada sensor LM35 sebesar 2%.

***Kata Kunci: ROV, LM35, MPX5700AP, Rudder.***

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## **DESIGN ROV (REMOTELY OPERATED VEHICLE) USING SINGLE-PHASE AC MOTORS**

**Name of Student** : Robby Kurniawan  
**NRP** : 2413 105 022  
**Department** : Engineering Physics, FTI-ITS  
**Supervisor** : 1. Harsono Hadi Ph.D  
2. Ir. Wiratno Argo Asmoro, MSc

### **Abstract**

*Indonesia with the predicate of an archipelago country, has a vast territorial waters. The current exploration is on average water level, while underwater exploration is still very rare. Utilization of robotics in the field of marine and shipping is expected to assist in underwater exploration. The robot commonly used to help the exploration is the water robot (underwater robot). ROV-based water robot (Remotely Operated Vehicle) in developed countries has been utilized in underwater exploration. ROV is considered more optimal in underwater exploration than conventional methods.*

*In this final project you want to do is how to make and simulate aerodynamics from ROV. First is to make ROV, both calibrate all sensors both LM35 temperature sensor, MPX5700AP. This data can be used to determine the speed of the sound source in water.*

*Based on the data retrieval obtained rudder on ROV able to move between  $0^{\circ}$  to  $180^{\circ}$ . In MPX5700AP sensor still experienced a very big error that is between -267.92% to 94%. Total volume of ballast when not filled with water  $0.081312 \text{ m}^3$ . The error value generated on the LM35 sensor is 2%.*

**Keywords:** ROV, LM35, MPX5700AP, Rudder.

*“Halaman ini memang dikosongkan”*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas berkat, rahmat dan kebesaran-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir yang berjudul ***RANCANG BANGUN ROV (REMOTELY OPERATED VEHICLE) MENGGUNAKAN MOTOR AC SINGLE-PHASE.***

Dalam menyelesaikan tugas akhir ini ini penulis telah sangat banyak mendapatkan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Agus Muhamad Hatta, S.T., M.Si., Ph.D selaku Ketua Departemen Teknik Fisika yang telah memberikan petunjuk, ilmu, serta bimbingan selama menempuh pendidikan di Teknik Fisika.
2. Bapak Harsono Hadi Ph.D. dan Bapak Ir. Wiratno Argo Asmoro, MSc. selaku dosen pembimbing yang telah dengan sabar memberikan petunjuk, ilmu, serta bimbingan yang sangat bermanfaat.
3. Ibu Ir. Ronny Dwi Noriyanti. M Kes. selaku dosen wali yang telah membimbing penulis selama perkuliahan.
4. Kedua orang tua (Bapak Mangsur dan Ibu Nasrifah) Terima kasih atas segala cinta, kasih sayang, doa, perhatian, serta dukungan moral dan materiil yang telah diberikan.
5. Seluruh teman Tugas Akhir terima kasih untuk semuanya.
6. Seluruh dosen, karyawan dan civitas akademik Teknik Fisika, terimakasih atas segala bantuan dan kerjasamanya.
7. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu, terimakasih atas bantuannya.

Penulis sadar bahwa penulisan laporan tugas akhir ini tidak sempurna, namun semoga laporan ini dapat memberikan kontribusi yang berarti dan menambah wawasan yang bermanfaat bagi pembaca, keluarga besar Teknik Fisika khususnya, dan civitas akademik ITS pada umumnya. Semoga laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat

sebagai referensi pengerjaan laporan tugas akhir bagi mahasiswa yang lain.

Surabaya, 24 Juli 2017

Penulis

## DAFTAR ISI

	Halaman
Halaman Judul .....	i
<i>Title Page</i> .....	iii
Lembar Pengesahan I .....	v
Lembar Pengesahan II .....	vii
Abstrak .....	ix
<i>Abstract</i> .....	xi
KATA PENGANTAR .....	xiii
DAFTAR ISI .....	xv
DAFTAR GAMBAR .....	xix
DAFTAR TABEL .....	xxi
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	2
1.4 Tujuan .....	2
1.5 Sistematika Laporan .....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	5
2.1 Robot Bawah Air .....	5
2.2 ROV (Remotely Operated Vehicle) .....	5
2.3 Hukum Archimedes .....	8
2.4 Sistem <i>Ballast</i> .....	8
2.5 Gaya Aerodinamik <i>Aerofoil</i> .....	12
2.6 Metode <i>Lift and Drag</i> .....	13
2.7 <i>Propeller</i> Kapal Selam .....	15
2.8 Karakteristik Baling-baling Kapal .....	15
2.9 Persamaan Akustik Bawah Air .....	16
2.10 Persamaan Kecepatan Suara di Laut Sebagai Fungsi (T,S,z) .....	17
2.11 Sensor Suhu LM35 .....	17
2.11.1 Struktur Sensor LM35 .....	18
2.11.2 Karakteristik Sensor LM35 .....	19
2.12 <i>Rudder</i> .....	21
2.12.1 Klasifikasi <i>Rudder</i> .....	21



2.12.2	Gaya yang Bekerja Pada <i>Rudder</i> .....	22
2.13	Tahanan Kapal .....	24
2.14	Mikrokontroller ARM .....	30
2.15	Sensor Tekanan MPX5700AP .....	32
2.16	<i>Hall Effect Sensor</i> A3144 .....	32
BAB III	METODOLOGI PENELITIAN .....	35
3.1	Pembuatan Sistem Mekanik ROV .....	35
3.2	Pembuatan Motor Kedap Air .....	35
3.3	Pembuatan <i>Rudder</i> dan Kontrol .....	36
3.4	Pembuatan <i>Remote Control</i> .....	37
3.5	Pembuatan Mekanik Sensor Tekanan MPX5700AP .....	37
3.6	Pembuatan Mekanik <i>Ballast</i> .....	38
3.7	Pembuatan Ruang Kontrol .....	38
3.8	Pembuatan Desain ROV .....	39
3.9	Pengambilan Data Suhu .....	39
3.10	Pengambilan Data Tekanan .....	40
3.11	Software yang Digunakan Untuk Membuat Rangkaian, Pemrograman dan Desain ROV .....	40
BAB IV	ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN .....	41
4.1	Analisa Data .....	41
4.1.1	Pembuatan Sistem Mekanik ROV .....	41
4.1.2	Pembuatan Motor Kedap Air .....	41
4.1.3	Pembuatan <i>Rudder</i> .....	43
4.1.4	Pembuatan <i>Remote Control</i> .....	45
4.1.5	Pembuatan Mekanik Sensor Tekanan MPX5700AP .....	46
4.1.6	Pembuatan Mekanik <i>Ballast</i> .....	47
4.1.7	Pembuatan Ruang Kontrol .....	48
4.1.8	Hasil Kalibrasi Sensor Suhu .....	49
4.2	Pembahasan .....	50
BAB V	PENUTUP .....	51
5.1	Kesimpulan .....	51
5.2	Saran .....	51
DAFTAR PUSTAKA .....		
LAMPIRAN A .....		

## LAMPIRAN B

### BIODATA PENULIS

*“Halaman ini memang dikosongkan”*

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
<b>Gambar 2.1</b>	ROV ..... 6
<b>Gambar 2.2</b>	<i>Venom Work Class</i> ROV ..... 7
<b>Gambar 2.3</b>	Menyelam Secara Dinamik..... 9
<b>Gambar 2.4</b>	Menyelam Secara <i>Static</i> Dengan Bantuan <i>Ballast</i> ..... 9
<b>Gambar 2.5</b>	Penempatan Posisi <i>Hull</i> Pada ROV ..... 10
<b>Gambar 2.6</b>	<i>Flooding</i> Dan <i>Blowing</i> Pada Sistem <i>Ballast</i> 11
<b>Gambar 2.7</b>	Sudut Serang <i>Aerofoil</i> ..... 12
<b>Gambar 2.8</b>	Sensor LM35..... 18
<b>Gambar 2.9</b>	Pin Pada Sensor LM35 ..... 19
<b>Gambar 2.10</b>	Grafik Akurasi LM35 Terhadap Suhu ..... 20
<b>Gambar 2.11</b>	Variasi Bentuk <i>Rudder</i> ..... 22
<b>Gambar 2.12</b>	Konfigurasi <i>Propeller</i> dan <i>Rudder</i> ..... 23
<b>Gambar 2.13</b>	Gaya yang Bekerja Pada <i>Rudder</i> ..... 23
<b>Gambar 2.14</b>	Sensor Tekanan MPX5700AP ..... 32
<b>Gambar 2.15</b>	Diagram <i>Hall Effect</i> ..... 33
<b>Gambar 3.1</b>	Komponen Pembuatan Motor Kedap Air .... 36
<b>Gambar 3.2</b>	Sistem Mekanik <i>Rudder</i> ..... 36
<b>Gambar 3.3</b>	Sistem Mekanik Sensor Tekanan MPX5700AP ..... 38
<b>Gambar 3.4</b>	Sistem Mekanik <i>Ballast</i> Statis ..... <b>38</b>
<b>Gambar 3.5</b>	Desain Ruang Kontrol ROV ..... 39
<b>Gambar 4.1</b>	Mekanik ROV ..... 41
<b>Gambar 4.2</b>	Motor AC 3.000 RPM ..... 42
<b>Gambar 4.3</b>	Motor AC 30.000 RPM ..... 42
<b>Gambar 4.4</b>	Mekanik <i>Rudder</i> ROV Awal ..... 43
<b>Gambar 4.5</b>	Mekanik <i>Rudder</i> ROV yang Digunakan..... 43
<b>Gambar 4.6</b>	<i>Remote Control</i> ROV..... 45
<b>Gambar 4.7</b>	Tampilan Data Sensor Pada LCD ..... 45
<b>Gambar 4.8</b>	Mekanik Dari Sensor Tekanan..... 46
<b>Gambar 4.9</b>	Sensor MPX5700AP dan <i>Pressure Gauge</i> .. 46
<b>Gambar 4.10</b>	<i>Ballast Statis</i> ..... 48
<b>Gambar 4.11</b>	Ruang Kontrol..... 49

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR TABEL

	Halaman
<b>Tabel 2.1</b> Persamaan Kecepatan Suara yang Hanya Dipengaruhi T,S,z. ....	17
<b>Tabel 3.1</b> Komponen Motor Kedap Air yang Dibutuhkan..	35
<b>Tabel 3.2</b> Komponen <i>Rudder</i> Yang Dibutuhkan .....	36
<b>Tabel 3.3</b> Komponen <i>Remote Control</i> yang Dibutuhkan ....	37
<b>Tabel 4.1</b> Pengambilan Data Sudut Pada <i>Rudder</i> .....	44
<b>Tabel 4.2</b> Data Pengukuran Tekanan .....	47
<b>Tabel 4.3</b> Hasil Kalibrasi Sensor Suhu .....	49

*“Halaman ini memang dikosongkan”*

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Indonesia dengan predikat negara kepulauan, mempunyai wilayah perairan yang begitu luas. Eksplorasi yang dilakukan saat ini rata-rata sebatas permukaan air, sedangkan eksplorasi bawah air masih sangat jarang dilakukan. Dengan kemajuan teknologi di bidang kelautan dan perkapalan, diharapkan dapat mendukung pemaksimalan *survey* dan eksplorasi bawah air. *Survey* dan eksplorasi bawah air yang telah dilakukan masih menggunakan cara konvensional, yaitu penyelam terjun langsung ke dalam air kemudian melakukan *survey* dan eksplorasi tanpa bantuan alat apapun. Kendala yang biasa dijumpai penyelam adalah susahnya medan penyelaman yang berakibat tidak maksimalnya eksplorasi yang dilakukan. Dalam kedalaman tertentu, tekanan air akan membahayakan penyelam, serangan dari biota air yang tidak diperkirakan pun memiliki resiko yang tinggi bagi penyelam juga menjadi kendala besar. Pemanfaatan robotika dalam bidang kelautan dan perkapalan diharapkan dapat membantu dalam eksplorasi bawah air. Robot yang biasa digunakan untuk membantu eksplorasi tersebut adalah robot air (*underwater robot*). Robot air yang berbasis *ROV* (*Remotely Operated Vehicle*) di negara-negara maju sudah dimanfaatkan dalam eksplorasi bawah air. *ROV* tersebut dinilai lebih optimal dalam pengeksplorasian bawah air dibanding dengan cara konvensional.

Pada tugas akhir ini, akan dibuat sistem Perancangan *ROV* paling banyak masih menggunakan kabel serta proses terapung dan tenggelamnya masih menggunakan prinsip kerja *rudder* dengan menggunakan mekanik motor serta sistem energinya yang kurang efisien. Pada tugas akhir ini yang ingin dilakukan adalah bagaimana membuat *ROV* dengan menggunakan motor AC *single-phase*.



## 1.2 Rumusan Permasalahan

Berdasarkan latar belakang di atas, maka dirumuskanlah beberapa permasalahan dalam Tugas Akhir ini yang kemudian berdasarkan metodologi yang ada harus dipecahkan. Adapun untuk rumusan permasalahannya adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana cara membuat ROV menggunakan bahan Alumiunium dan PVC ?
2. Bagaimana cara mengkalibrasi tekanan dalam air menggunakan sensor MPX5700AP dan menampilkan kedalaman posisi ROV pada *Graphic LCD* yang dihitung dari permukaan air ?
3. Bagaimana cara mengkalibrasi sensor suhu LM35 ?

## 1.3 Tujuan

Adapun tujuan yang terdapat pada tugas akhir ini yaitu :

1. Membuat ROV menggunakan bahan Alumunium dan PVC ?
2. Mengkalibrasi tekanan dalam air menggunakan sensor MPX5700AP dan menampilkan kedalaman posisi ROV pada *Graphic LCD* yang dihitung dari permukaan air ?
3. Bagaimana cara mengkalibrasi sensor suhu LM35 ?

## 1.4 Batasan Masalah

Untuk pemfokusan permasalahan dalam Tugas Akhir ini, beberapa batasan masalah yang diambil adalah sebagai berikut :

1. Mikrokontroler yang digunakan STM32F0 Discovery.
2. Panjang kabel yang digunakan untuk ROV 15 meter.
3. Motor yang digunakan adalah motor *brushless* AC sebanyak 4 buah dengan *propeller* 3 daun dan 2 buah motor AC dengan menggunakan *propeller* 2 daun.
4. Sebuah box yang digunakan untuk sebagai sistem kontrol.
5. 2 buah motor torsi tinggi yang digunakan sebagai penggerak *rudder*.

## 1.5 Sistematika Laporan

Sistematika penulisan laporan tugas akhir adalah sebagai berikut:

a. **BAB I PENDAHULUAN**

Pada bab I ini terdiri dari latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan dan sistematika laporan.

b. **BAB II TEORI PENUNJANG**

Pada bab II ini dibahas mengenai teori-teori yang berkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan, seperti teori pemodelan ballast tank pada ROV serta *rudder* yang digunakan.

c. **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

Pada bab III ini berisi mengenai rancangan dari penelitian yang dilakukan, metode dan langkah-langkah dalam penelitian.

d. **BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN**

Pada bab IV ini berisi tentang data hasil penelitian dari pembuatan mekanik ROV, kalibrasi sensor suhu dan tekanan.

e. **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

Pada bab V ini diberikan kesimpulan tentang tugas akhir yang telah dilakukan berdasarkan data-data yang diperoleh, serta diberikan saran sebagai penunjang maupun pengembangan tugas akhir selanjutnya.

*“Halaman ini memang dikosongkan”*

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Robot Bawah Air**

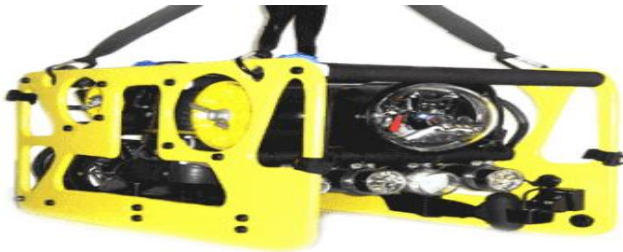
Robot bawah air adalah salah satu tipe *robot mobile* yang aplikasinya ditujukan untuk melakukan kegiatan di bawah air. Secara umum robot bawah air di kelompokkan atas dua jenis yaitu AUV (*Autonomous Underwater Vehicle*) dan ROV (*Remotely Operated Vehicle*). AUV adalah jenis robot bawah air yang bersifat *autonomous* (otonom), robot dapat bergerak dan melakukan kegiatan sendiri, berdasarkan program yang telah ditanamkan di dalam *chip*-nya. Hal ini ditunjang dengan dukungan dari sensor-sensor yang disertakan pada robot tersebut. Sedangkan ROV adalah robot bawah air yang dikendalikan oleh operator dalam pengoperasiannya, dan didukung oleh perangkat kendali (*remote control*) dalam pengoperasiannya. Contoh Robot penyelam termasuk dalam jenis robot atau kendaraan bawah air yang tergolong ROV. Robot penyelam adalah robot yang mampu bergerak di dalam air. Gerakan yang dapat dilakukan adalah naik dan menyelam. Gerakan ke atas timbul akibat adanya gaya dorong dari putaran *propeller*, sedangkan untuk gerak menyelam disebabkan oleh berat beban dari robot (saat kondisi motor off).

#### **2.2 ROV (*Remotely Operated Vehicle*)**

ROV pada dasarnya adalah sebuah robot bawah laut yang dikendalikan oleh operator ROV, untuk tetap dalam kondisi yang aman, pada saat ROV bekerja di lingkungan yang berbahaya. ROV seperti pada Gambar 2.1 secara luas dikenal sebagai nama umum bagi kapal selam mini yang kerap digunakan pada industri minyak dan gas lepas pantai. Kapal selam ini tak berawak, tapi dioperasikan dari kapal lain. Sistem ROV terdiri atas *vehicle* (atau sering disebut ROV itu sendiri), yang terhubung oleh kabel ke ruangan kontrol dan operator di atas permukaan air (kapal, *rig* atau *barge*). Melalui kabel, tenaga listrik dan juga perintah-perintah, atau sinyal kontrol, disampaikan dari perangkat kontrol ke ROV, secara dua arah. ROV dilengkapi dengan peralatan atau

sensor tertentu seperti kamera video, transponder, kompas, odometer, *bathy* (data kedalaman) dan lain-lain tergantung dari keperluan dan tujuan surveinya. Kebanyakan ROV dilengkapi dengan kamera video dan lampu yang digunakan untuk melakukan pengamatan (*observation*). Kemampuannya bisa ditingkatkan dengan menambahkan sonar, magnetometer, kamera foto, manipulator atau lengan robotik, pengambil sampel air, dan alat pengukur kejernihan air, penetrasi cahaya, serta temperatur. Kabel-kabel ROV dilapisi dengan tabung penuh minyak agar terhindar dari korosi air laut. Alat pendorong dipasang di tiga lokasi agar menghasilkan kontrol penuh terhadap alat itu. Adapun kamera, lampu, dan lengan manipulator berada di bagian depan atau belakang.

Mengenai siapa yang pertama kali memperkenalkan istilah ROV dan yang membuatnya tidak diketahui secara pasti. Namun setidaknya ada dua peristiwa penting yang berkaitan dengan mulai populernya istilah ROV yaitu ketika diluncurkannya PUV (*Programmed Underwater Vehicle*) yang dibuat oleh *Luppis-Whitehead Automobile* (LWA) di Austria pada tahun 1864. Sebutan ROV sendiri pertama kali dibuat oleh Dimitri Rebikoff dalam Marine Technology Society tahun 1953, yang membuat ROV dengan nama POODLE.



**Gambar 2.1 ROV**

Angkatan Laut Amerika Serikat (AS) selanjutnya mengembangkan teknologi ini. Dengan dukungan teknologi tinggi dan pendanaan besar mereka mengembangkan ROV untuk mengangkat ranjau-ranjau di dasar laut dan peristiwa hilangnya

bom atom di Spanyol pada kecelakaan pesawat di tahun 1966. Teknologi ROV ini dikembangkan sejak 1960-an oleh Angkatan Laut Amerika Serikat dengan tujuan awalnya untuk operasi penyelamatan dan pengambilan obyek di dasar laut. Generasi berikutnya dengan semakin berkembangnya teknologi, ROV banyak digunakan untuk mendukung pekerjaan di pengeboran minyak lepas pantai. ROV pertama kali yang dilibatkan dalam hal pekerjaan tersebut adalah RCV-225 dan RCV-150 yang dibuat oleh HydroProducts, Amerika Serikat. Saat ini, pada saat kecenderungan eksplorasi minyak dan gas semakin banyak dilakukan pada laut dalam, ROV telah menjadi suatu bagian yang penting dari operasional kegiatan eksplorasi tersebut.

Salah satu contoh ROV tipe *work class* yaitu Venom Gambar 2.2. Venom *work class* ROV didesain untuk operasi bawah air hingga kedalaman 3000 meter dan digerakkan dengan unit tenaga hidrolik untuk menghasilkan daya hingga 150 HP (*horse power*). Desain yang modular memberikan berbagai mode operasi dan tugas-tugas yang dapat dilakukan dengan sistem tunggal. Hal yang paling penting dalam Venom ialah perawatan dan perbaikan kabel kapal selam. Fasilitas daya, kontrol dan ruang kerja di dalamnya memberikan mobilisasi yang cepat dalam sebuah alternatif kapal selam.



**Gambar 2.2** *Venom Work Class ROV*

### 2.3 Hukum Archimedes

Hukum Archimedes menyatakan bahwa, sebuah benda yang tercelup sebagian atau seluruhnya ke dalam zat cair akan mengalami gaya ke atas yang besarnya sama dengan berat zat cair yang dipindahkannya. Sebuah benda yang tenggelam seluruhnya atau sebagian dalam suatu fluida akan mendapatkan gaya angkat ke atas yang sama besar dengan berat fluida yang dipindahkan. Besarnya gaya ke atas menurut Hukum Archimedes ditulis dalam persamaan :

$$F_a = \rho \cdot v \cdot g \quad (2.1)$$

Keterangan :

$F_a$  = gaya ke atas (N)

$V$  = volume benda yang tercelup ( $m^3$ )

$\rho$  = massa jenis zat cair ( $kg/m^3$ )

$g$  = percepatan gravitasi (N/kg)

Hukum ini juga bukan suatu hukum fundamental karena dapat diturunkan dari hukum newton juga.

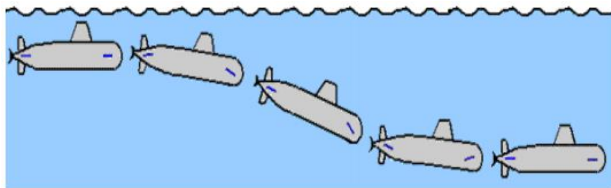
- Bila gaya archimedes sama dengan gaya berat  $W$  maka resultan gaya = 0 dan benda melayang
- Bila  $F_a > W$  maka benda akan terdorong keatas akan terapung.
- Bila  $F_a < W$  maka benda akan terdorong kebawah dan tenggelam.

Berdasarkan Hukum Archimedes, sebuah benda yang tercelup ke dalam zat cair akan mengalami dua gaya, yaitu gaya gravitasi atau gaya berat ( $W$ ) dan gaya ke atas ( $F_a$ ) dari zat cair itu. Dalam hal ini ada tiga peristiwa yang berkaitan dengan besarnya kedua gaya tersebut yaitu seperti berikut.

### 2.4 Sistem *Ballast*

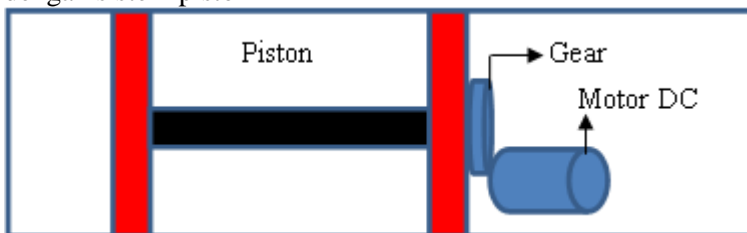
Pada dasarnya, ada dua cara untuk menenggelamkan kapal selam yaitu dengan cara menyelam secara dinamis dan statis. Banyak model kapal selam menggunakan metode statis dan dinamis saat menyelam pada umumnya digunakan oleh semua

kapal selam militer. Sistem dinamis adalah sistem dengan metode penyelaman dinamis dimana kapal selam menggunakan sirip atau biasa disebut dengan hidroplane dan dibantu dengan kecepatan dari kapal selam tersebut untuk membantu pergerakan kapal selam tersebut agar dapat menyelam dan mengapung di air. Sedangkan untuk kapal selam statis yaitu memiliki proses penyelaman dengan cara mengubah berat kapal selam tersebut misalnya dengan cara mengisi tangki ballast yang bertujuan untuk melakukan pergerakan penyelaman dan untuk melakukan pergerakan mengapung dilakukan dengan memompa air dari tangki ballast keluar dari ROV. Dalam proyek akhir ini akan dibuat sebuah sistem ballast yang merupakan bagian dari model kapal selam dengan model penyelaman secara statis. Berikut ini adalah contoh gambar proses penyelaman secara dinamik



**Gambar 2.3** Menyelam Secara Dinamik

Berikut ini adalah contoh gambar proses penyelaman secara statis dengan menggunakan salah satu model sistem ballast yaitu dengan sistem piston



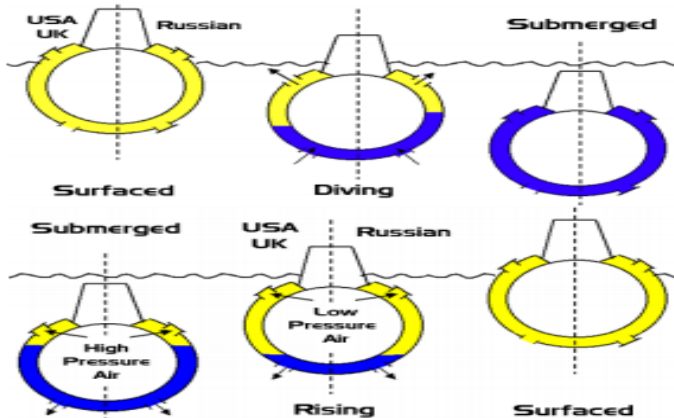
**Gambar 2.4** Menyelam Secara *Static* dengan Bantuan *Ballast*



Bouyancy adalah suatu faktor yang sangat penting di dalam penyelaman. Selama melakukan pergerakan dalam air dengan scuba, penyelam harus dapat mempertahankan posisi neutral atau dalam keadaan mengapung "Buoyancy Positif" terjadi apabila berat kapal lebih kecil dari gaya apung sehingga dapat menyebabkan kapal selam naik ke permukaan. Pada keadaan "buoyancy Negatif" terjadi apabila berat kapal selam lebih besar dari gaya apung dan menyebabkan kapal selam tenggelam. "buoyancy Netral" mengacu pada kondisi di mana berat kapal selam sama p dengan gaya apung, sehingga mengalami pergerakan melayang. Pada posisi kapal selam dalam keadaan yang disebut dengan "daya apung netral" yaitu dimana posisi yang sangat sulit untuk didapatkan yaitu posisi dimana kapal selam saat istirahat akan naik ke permukaan atau tenggelam ke bawah. Buoyancy pada kapal selam dapat bisa diubah dengan membiarkan air ke dalam tangki ballast utama Main Ballast Tank (MBT). MBT dapat ditentukan dalam tiga cara berbeda: (a) di dalam lambung tekanan, (b) di luar hull tekanan sebagai tank tambahan, dan (c) di antara lambung luar dan tekanan lambung.. Kelemahan memiliki MBT tekanan di dalam lambung jelas: tidak memakan ruang yang lain bisa digunakan untuk peralatan, senjata, atau personil. Susunan MBT sering digunakan dan kapal selam lainnya. Kebanyakan kapal selam militer modern menggunakan ruang yang di-antara hull tekanan dalam dan luar lambung sebagai MBT. Gambar 2.5 dibawah ini adalah penempatan posisi hull pada ROV



**Gambar 2.5** Penempatan Posisi Hull Pada ROV



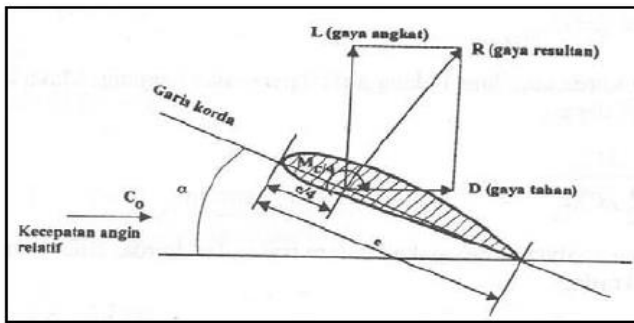
**Gambar 2.6** *Flooding dan Blowing*  
Pada Sistem *Ballast*

Proses ini terjadi pada permukaan kapal selam, air dalam MBT adalah dikeluarkan oleh udara bertekanan. Ketika kapal selam ini tenggelam, air dipaksa keluar dengan menggunakan udara bertekanan tinggi untuk mengatasi yang diakibatkan oleh tekanan air. Setelah kapal sudah dekat permukaan, yang bertiup dari hasil yang MBT dengan tekanan udara rendah. Setelah di permukaan, perahu menutup dan kemudian membuka lubang utama kemudian katup menyamakan tekanan udara di MBT dengan atmosfer. Prinsip kerja sistem ballast ini adalah mengalirkan udara bebas kedalam tabung melalui saluran udara dan dimana udara tadi terperangkap tidak dapat keluar yang nantinya tabung tersebut dipenuhi oleh udara bertekanan tinggi yang menyebabkan posisi wahana bawah air tanpa awak akan tenggelam. Dan untuk mengembalikan posisi wahana bawah air atau bergerak keatas mendekati permukaan udara dalam tabung tersebut dikeluarkan melalui saluran pipa keluaran udara ke tabung yang berukuran lebih besar ini dimaksudkan agar udara mampu mengangkat wahana bawah air ke permukaan. Sistem ini sesuai dengan hukum Archimedes yang menyatakan bahwa udara

akan mengalir dari tempat yang bertekanan tinggi menuju ketempat yang bertekanan rendah.

## 2.5 Gaya Aerodinamik *Aerofoil*

Gaya aerodinamik vertikal yang bekerja pada *aerofoil* terjadi akibat adanya perbedaan tekanan permukaan atas *aerofoil* dengan permukaan bawahnya. Jika tekanan di permukaan atas lebih rendah dari tekanan permukaan bawah *aerofoil* maka akan menimbulkan gaya ke arah atas yang dikenal dengan istilah gaya angkat (*lift force*). Jika tekanan di permukaan atas lebih tinggi dari tekanan di permukaan bawah *aerofoil* maka akan menimbulkan gaya ke arah bawah yang dikenal sebagai gaya tekan (*down force*). Gaya aerodinamik horisontal yang bekerja pada *aerofoil* terjadi karena tekanan udara pada bagian depan lebih tinggi dibanding tekanan pada bagian belakang sehingga arah gaya yang terjadi adalah ke belakang yang disebut gaya hambat (*drag force*). (Teddy N., 2008).



**Gambar 2.7** Sudut Serang *Aerofoil*

Bentuk permukaan atas dan permukaan bawah *aerofoil*, besarnya sudut serang, serta besar dan arah datangnya aliran akan sangat mempengaruhi variasi tekanan di permukaan atas dan bawah *aerofoil* yang selanjutnya akan mempengaruhi besarnya gaya angkat (*lift force*) dan gaya hambat (*drag force*). *Aerofoil* dipasang pada sudut serang tertentu dengan tujuan mengubah besar gaya angkat yang dihasilkan dan arah gaya resultannya

sesuai dengan yang diperlukan. Sudut serang ( $\alpha$ ) adalah sudut yang dibentuk antara garis korda dengan arah datangnya aliran. Harga sudut serang bernilai positif untuk mendapatkan gaya vertikal ke atas (*lift force*), sedangkan sudut serang negatif untuk mendapatkan gaya vertikal ke bawah (*down force*). (Teddy N., 2008).

## 2.6 Metode *Lift and Drag*

Benda yang terbenam dalam aliran fluida (*immersed bodies*) akan mengalami gaya-gaya akibat interaksi fluida dengan benda, gaya yang ditimbulkan akibat interaksi fluida dan benda berupa gaya normal yang disebabkan tekanan dan gaya geser yang disebabkan pengaruh viskositas fluida. Pada aliran horizontal jika dilihat dari sisi dua dimensi, gaya yang tegak lurus dengan arah aliran disebut gaya angkat (*lift force*) sedangkan gaya yang searah dengan aliran disebut dengan drag. Dalam konsep aerodinamik gaya angkat (*lift force*) didefinisikan sebagai gaya mekanik dengan arah normal ke atas pada suatu benda yang ditimbulkan oleh pengaruh tekanan fluida sehingga gaya normal kebawah akibat tekanan fluida disebut dengan *negative lift force*. Sedangkan gaya drag adalah gaya mekanik yang mengakibatkan pergerakan atau pergeseran benda yang ditimbulkan oleh aliran fluida. Vektor gaya drag searah dengan arah aliran fluida.

Gaya pada sayap (*foil*) dihasilkan oleh fenomena aliran fluida pada luasan permukaan sayap. Pada sayap kecepatan aliran fluida pada permukaan cembung (bagian atas) lebih cepat dari pada kecepatan aliran permukaan yang datar (bagian bawah). Berdasarkan hukum *Bernoulli* hal tersebut akan mengakibatkan tekanan permukaan bagian bawah lebih besar dan permukaan bagian atas lebih kecil sehingga mengakibatkan gaya angkat keatas (*lift force*).

$$P + \frac{1}{2}\rho V^2 + 2g = C \quad (2.2)$$

$$P_{Lift} + \frac{1}{2}\rho V^2 = C \quad (2.3)$$

$$P_{Drag} + \frac{1}{2}\rho V^2 = C \quad (2.4)$$

Dimana:

$P$  = Tekanan fluida

$\rho$  = Massa jenis fluida

$V$  = Kecepatan aliran fluida

Dari persamaan *Berneouilly* diatas jumlah energi adalah konstan, pada aliran disekitas sayap (*foil*) kecepatan aliran fluida pada permukaan bagian atas (cembung) lebih besar sedangkan kecepatan aliran fluida pada permukaan bagian bawah (datar) lebih kecil, sebaliknya tekanan pada bagian atas akan mengecil dan bagian bawah akan membesar. Sehingga untuk menghasilkan gaya *lift* besarnya tekanan efektif keatas adalah

$$P_{effectif} = P_{Lift} - P_{Drag} \quad (2.5)$$

Hukum Newton-II menyatakan bahwa perubahan momentum yang terjadi pada partikel fluida adalah sama dengan jumlah gaya-gaya pada partikel tersebut. Sehingga gaya yang terjadi akibat tekanan fluida sama dengan perubahan momentum aliran fluida

$$P = \frac{1}{2}\rho V^2 \rightarrow \frac{F}{S} = \frac{1}{2}\rho V^2 \quad (2.6)$$

$$F = \frac{1}{2}\rho S V^2 \quad (2.7)$$

Gaya aerodinamik yang bekerja pada sayap mempunyai persamaan umum sebagai berikut :

$$F = C_F \frac{1}{2}\rho S V^2 \quad (2.8)$$

Dimana:

$F$  = Gaya yang berkerja pada sayap

$C_F$  = Koefisien Gaya

$\rho$  = Massa jenis fluida

Untuk analisa gaya angkat (*lift force*) dan drag yang bekerja pada sayap (*foil*) dapat dinyatakan dalam besaran berupa koefisien seperti berikut

$$C_L = \frac{F_{Lift}}{\frac{1}{2}\rho SV^2}, C_D = \frac{F_{Drag}}{\frac{1}{2}\rho SV^2} \quad (2.9)$$

## 2.7 Propeller Kapal Selam

Desain dan pengembangan baling-baling untuk kapal selam dalam beberapa hal berbeda dari baling-baling untuk Kapal yang berada dipermukaan. Kebutuhan yang paling penting bagi baling-baling kapal selam adalah rendahnya kebisingan yang ditimbulkan.. Hal itu disebabkan ditakutkannya adanya kavitasi yang menimbulkan kebisingan. Kavitasi sendiri terjadi karena peningkatan kecepatan dan penurunan tekanan yang menyebabkan mendidihnya air lalu terjadilah gelembung kavitasi. Gelembung tersebut bercampur dengan gas lain disekitar yang menyebabkan terjadinya aliran kavitasi<sup>[4]</sup>. Dari aliran kavitasi tersebut menyebabkan terjadinya kebisingan yang harus dihindari dalam mendesain propeller kapal selam. Dalam merancang kapal selam ada beberapa hal yang perlu diperhatikan yaitu :

- Akustik yang rendah, optik, elektromagnetik, termal dan gelombang komunikasi
- Manuver dan propulsi dengan kualitas tinggi.
- Peningkatan perlindungan pasif dengan mengurangi kebisingan emisi dan baik dalam melawan hambatan.
- Baling-baling benar-benar bebas dari kavitasi dengan memadai margin
- Baling-baling dengan efisiensi tinggi.

## 2.8 Karakteristik Baling-baling Kapal

Setiap tipe dari masing-masing baling-baling kapal, memiliki karakteristik kurva kinerja yang berbeda-beda. Sehingga kajian terhadap karakteristik baling-baling kapal tidak dapat di-

generalised untuk keseluruhan bentuk atau tipe dari baling-baling. Persamaan sebagai berikut :

$$KT = \frac{T}{\rho n^2 D^4} \quad (2.10)$$

$$KQ = \frac{Q}{\rho n^2 D^4} \quad (2.11)$$

$$J = \frac{Va}{nxD} \quad (2.12)$$

Dimana:

KT = Koefisien gaya dorong baling-baling

KQ = Koefisien torsi baling-baling

J = Koefisien *advanced* baling-baling

Va = kecepatan *advanced*

D = diameter *propeller*

n = putaran *propeller*

T = *thrust propeller*

Q = *torque propeller*

$\rho$  = massa jenis fluida (*fluid density*)

## 2.9 Persamaan Akustik Bawah Air

Persamaan akustik bawah air diturunkan dari persamaan state, persamaan kekekalan massa (persamaan kontinuitas) dan persamaan kekekalan momentum. Adapun persamaan akustik bawah air adalah persamaan gelombang berikut ini.

$$\frac{\partial^2 p_1}{\partial t^2} = C_0^2 \frac{\partial^2 p_1}{\partial x^2} \quad (2.13)$$

Dimana :

$P_1$  = Tekanan (Pa)

$C_0$  = Kecepatan rambat gelombang suara (m/s)

t = Waktu (s)

x = Koordinat posisi

## 2.10 Persamaan Kecepatan Suara di Laut Sebagai Fungsi (T,S,z)

kecepatan suara di bawah air laut menentukan banyak perilaku transmisi suara di laut. Kecepatan suara dari permukaan sampai dasar laut sangat bervariasi. Secara empiris kecepatan suara ( $c$ ) merupakan fungsi dan temperatur ( $T$ ), salinitas ( $S$ ) dan kedalaman ( $z$ ).

kecepatan suara ini bervariasi tergantung pada lokasi geografisnya. Variasi kecepatan suara terhadap kedalaman *dinamakan Sound Velocity Profile* (SVP). SVP dapat diperoleh dengan observasi hidrografi berupa pengukuran temperatur, salinitas dan kedalaman.

Tabel 2.1 berikut ini adalah tiga persamaan empiris kecepatan suara yang hanya dipengaruhi oleh temperatur  $T$ , salinitas  $S$  dan kedalaman  $z$ , dimana tidak ada factor lain yang mempengaruhinya baik itu kecepatan arus laut maupun faktor fisik lainnya. (Urlick, Robert J., *Principles of Underwater Sound*, 3<sup>rd</sup> edition, New York, 1983

**Tabel 2.1** Persamaan kecepatan suara yang hanya dipengaruhi T,S,z.

Persaman Empiris Kecepatan Suara	Persamaan
Leroy	$c = 1492.2 + 3(T-10) - (6 \times 10^{-3})(T-10)^2 + 1.2(S-35) - 10^{-2}(T-18)(S-35) + z/61$
Medwin	$c = 1449.2 + 4.6T - (5.5 \times 10^{-2})T^2 + (2.9 \times 10^{-4})T^3 + (1.34 - 10^{-2})(S-35) + (1.6 \times 10^{-2})z$
Mackenzie	$c = 1448.96 + 4.591T - (5.304 \times 10^{-2})T^2 + (2.374 \times 10^{-4})T^3 - 1.34(S-35) + (1.63 \times 10^{-2})z + (1.67558 \times 10^{-7})z^2 - (1.025 \times 10^{-2})T(S-35) - (7.139 \times 10^{-13})T.z^3$

## 2.11 Sensor Suhu LM35

LM35 adalah komponen sensor suhu berukuran kecil seperti transistor (TO-92), komponen yang sangat mudah digunakan ini



mampu mengukur suhu hingga 100 °C. Sensor suhu LM35 adalah komponen elektronika yang memiliki fungsi untuk mengubah besaran suhu menjadi besaran listrik dalam bentuk tegangan. Sensor Suhu LM35 yang dipakai dalam penelitian ini berupa komponen elektronika elektronika yang diproduksi oleh *National Semiconductor*. LM35 memiliki keakuratan tinggi dan kemudahan perancangan jika dibandingkan dengan sensor suhu yang lain, LM35 juga mempunyai keluaran impedansi yang rendah dan linieritas yang tinggi sehingga dapat dengan mudah dihubungkan dengan rangkaian kendali khusus serta tidak memerlukan penyetelan lanjutan. Dengan tegangan keluaran yang terskala linear dengan suhu terukur, yaitu 10 milivolt per 1 °C.

Meskipun tegangan sensor ini dapat mencapai 30 volt akan tetapi yang diberikan ke sensor adalah sebesar 5 volt, sehingga dapat digunakan dengan catu daya tunggal dengan ketentuan bahwa LM35 hanya membutuhkan arus sebesar 60  $\mu$ A hal ini berarti LM35 mempunyai kemampuan menghasilkan panas (*self-heating*) dari sensor yang dapat menyebabkan kesalahan pembacaan yang rendah yaitu kurang dari 0,5 °C pada suhu 25 °C.

### 2.11.1 Struktur Sensor LM35

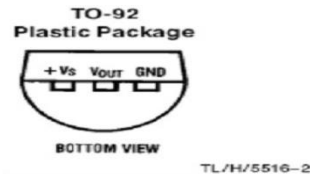


**Gambar 2.8** Sensor LM35

Dari gambar diatas dapat diketahui bahwa sensor suhu IC LM35 pada dasarnya memiliki 3 pin diantaranya yaitu, pin 1 berfungsi sebagai sumber tegangan kerja dari LM35, pin 2 atau tengah digunakan sebagai tegangan keluaran atau Vout dengan jangkauan kerja dari 0 Volt sampai dengan 1,5 Volt dengan tegangan operasi sensor LM35 yang dapat digunakan antar 4 Volt

sampai 30 Volt. Keluaran sensor ini akan naik sebesar 10 mV setiap derajat *celcius*.

### 2.11.2 Karakteristik Sensor LM35.



**Gambar 2.9** Pin pada Sensor LM35

1. Memiliki sensitivitas suhu, dengan faktor skala linier antara tegangan dan suhu 10 mVolt/°C, sehingga dapat dikalibrasi langsung dalam *celcius*.
2. Memiliki ketepatan atau akurasi kalibrasi yaitu 0,5°C pada suhu 25 °C seperti terlihat pada Gambar 2.10
3. Memiliki jangkauan maksimal operasi suhu antara -55 °C sampai +150 °C.
4. Bekerja pada tegangan 4 sampai 30 volt.
5. Memiliki arus rendah yaitu kurang dari 60  $\mu$ A.
6. Memiliki pemanasan sendiri yang rendah (*low-heating*) yaitu kurang dari 0,1 °C pada udara diam.
7. Memiliki impedansi keluaran yang rendah yaitu 0,1 W untuk beban 1 mA.
8. Memiliki ketidaklinieran hanya sekitar  $\pm \frac{1}{4}$  °C.

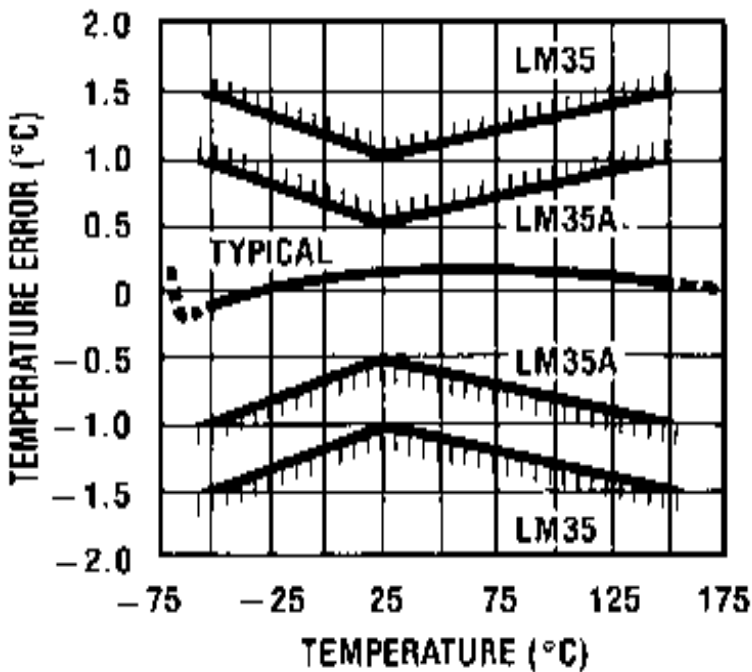
Sensor suhu IC LM35 memiliki keakuratan tinggi dan mudah dalam perancangan jika dibandingkan dengan sensor suhu yang lain, sensor suhu LM35 juga mempunyai keluaran impedansi yang rendah dan linieritas yang tinggi

Sehingga dapat dengan mudah dihubungkan dengan rangkaian kontrol khusus serta tidak memerlukan setting tabahan karena output dari sensor suhu LM35 memiliki karakter yang linier dengan perubahan 10mV/°C. Sensor suhu LM35 memiliki jangkauan pengukuran -55°C hingga +150°C dengan akurasi

$\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ . Tegangan output sensor suhu IC LM35 dapat diformulasikan  $V_{\text{out LM35}} = \text{temperature } ^{\circ} \times 10\text{mV}$ .

Sensor suhu LM35 terdapat dalam beberapa varian sebagai berikut :

- LM35, LM35A memiliki range pengukuran temperature -  $55^{\circ}\text{C}$  hingga  $+150^{\circ}\text{C}$ .
- LM35C, LM35CA memiliki range pengukuran temperatur  $-40^{\circ}\text{C}$  hingga  $+110^{\circ}\text{C}$ .
- LM35D memiliki range pengukuran temperatur  $0^{\circ}\text{C}$  hingga  $+100^{\circ}\text{C}$ .



**Gambar 2.10** Grafik akurasi LM35 terhadap suhu

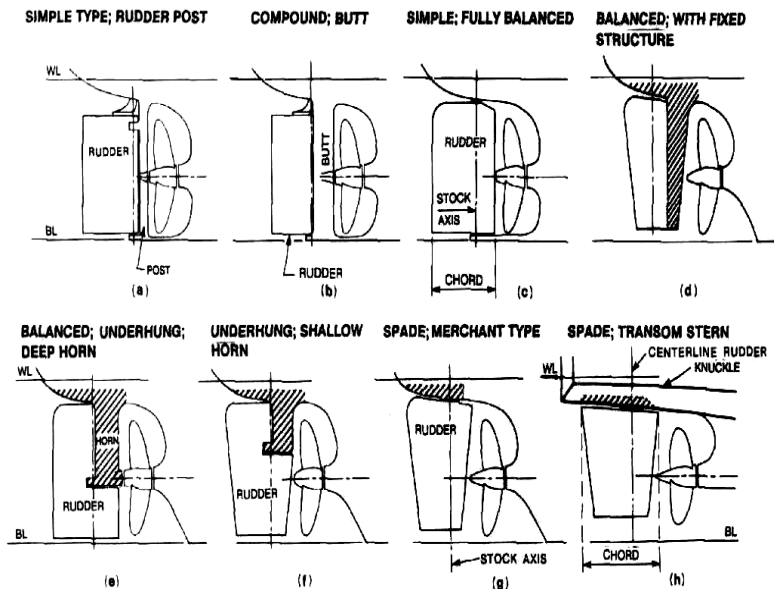
## 2.12 *Rudder*

*Rudder* atau kemudi merupakan alat mekanis pada kapal yang berfungsi untuk merubah arah aliran fluida yang dihasilkan oleh putaran *propeller*, sehingga mengakibatkan perubahan arah haluan kapal. Bagian-bagian utama dari sistem pengemudian dapat dikelompokkan dalam empat bagian utama, yaitu:

- a) Kemudi, bagian yang berfungsi sebagai alat untuk membelokkan kapal sesuai dengan sudut belok yang dibutuhkan dengan memanfaatkan aliran fluida yang dihasilkan oleh *propeller*.
- b) Unit kontrol, bagian yang berfungsi untuk mengontrol dan mengendalikan kerja dari sistem pengemudian.
- c) Unit tenaga, bagian yang berfungsi untuk memberikan tenaga yang nantinya digunakan untuk proses menggerakkan poros kemudi.
- d) Unit transmisi, bagian yang berfungsi untuk menyalurkan tenaga dari unit tenaga ke kemudi, maupun dari kontrol pada ruang kemudi ke sistem pengemudian.

### 2.12.1 Klasifikasi *Rudder*

- a) Berdasarkan letak daun kemudi terhadap poros kemudi
  - Kemudi biasa (*unbalance*) yaitu daun kemudi yang terletak dibelakang poros kemudi.
  - Kemudi *balance* yaitu luas daun kemudi yang terbagi dua bagian yang sama di bagian depan dan belakang poros kemudi.
  - Kemudi semi *balance* yaitu pada bagian atas daun kemudi biasa sedangkan bagian bawah merupakan kemudi *balance*.
- b) Berdasarkan letak terhadap sepatu.
  - Kemudi meletak.
  - Kemudi menggantung.
  - Kemudi setengah menggantung.



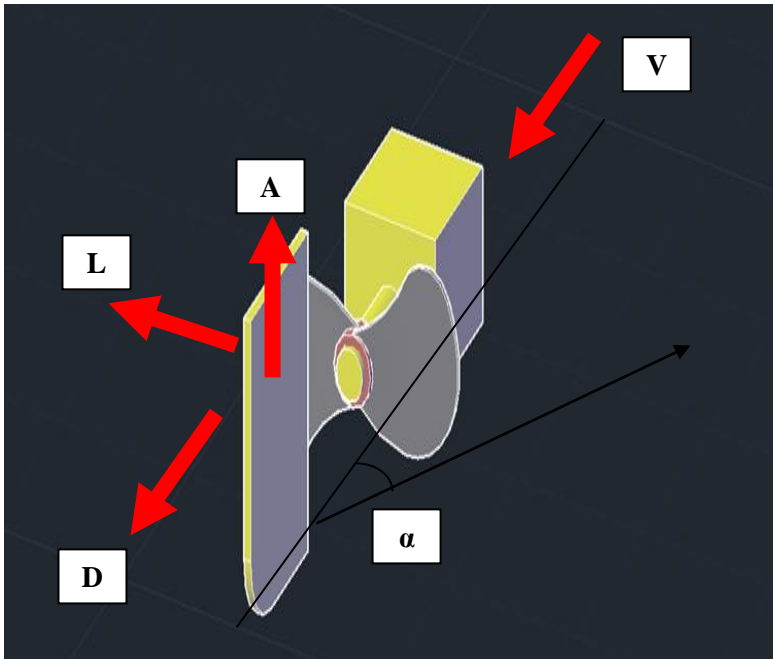
**Gambar 2.11** Variasi Bentuk *Rudder*

### 2.12.2 Gaya yang Bekerja Pada *Rudder*

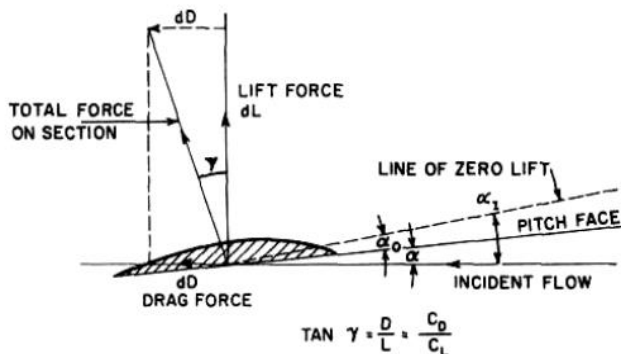
Aliran fluida pada lambung kapal yang tercelup air sebelum mengenai daun kemudi pada dasarnya adalah simetris. Arah kapal tidak berubah karena aliran yang dihasilkan saling menyeimbangkan satu sama lain. Oleh karena itu untuk merubah arah kapal dibutuhkan gaya tambahan, yaitu gaya pada daun kemudi. Dengan adanya daun kemudi yang membentuk arah fluida dengan sudut  $\alpha$  pada kecepatan yang konstan maka muncullah gaya pada daun kemudi yang tidak simetris. Gaya ini disebut gaya kemudi, gaya inilah yang menyebabkan perubahan *force* dan *lift force*.

Istilah *lift* digunakan pada analisa gaya ke atas suatu *foil aerodynamic*, maka dari itu dinamakan gaya *lift* (angkat) sebab umumnya *foil aerodynamic* digunakan untuk mengangkat pesawat. Namun istilah *lift force* juga digunakan pada

menganalisa gaya suatu *foil* kemudi untuk membelokkan kapal ke arah samping. Sedangkan *drag force* merupakan gaya pada kemudi yang arahnya berlawanan dengan arah laju kapal.



**Gambar 2.12** Konfigurasi *Propeller* dan *Rudder*



**Gambar 2.13** Gaya yang Bekerja pada *Rudder*

Besarnya *lift force* dan *drag force* yang terjadi dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$L = \frac{\rho \cdot v^2 \cdot A \cdot C_L}{2} \quad (2.14)$$

$$D = \frac{\rho \cdot v^2 \cdot A \cdot C_D}{2} \quad (2.15)$$

Dimana :

$L$  = *Lift force* (N)

$D$  = *Drag force* (N)

$\alpha$  = *Angle of attack* (°)

$V$  = Kecepatan fluida (m/s)

$C_L$  = Koefisien *lift force*

$C_D$  = Koefisien *drag force*

$\rho$  = *Density of fluid* (kg/m<sup>3</sup>)

$A$  = Luas penampang *rudder* (m<sup>2</sup>)

### 2.13 Tahanan Kapal

Tahanan kapal (*resistance*) merupakan gaya fluida yang bekerja pada kapal sedemikian rupa sehingga melawan gerakan kapal. Melihat bahwa kapal bergerak di bidang fluida cair yang nilai kerapatan massanya lebih besar dari udara sehingga semakin besar kecepatan dan dimensi suatu kapak maka semakin besar pula energi yang dibuang untuk menghasilkan enegi berupa gelombang. Gelombang inilah yang kemudian bergesekan dengan lambung kapal dan arahnya melawan arah kapal sehingga menimbulkan gaya berlawanan.

Tahanan total pada kapal ( $R_T$ ) terdiri dari komponen-komponen bagian kapal yang mempunyai kemungkinan menimbulkan gaya hambat atau *resistance*. Prinsipnya ada dua bagian kapal ayng mengalami gaya hambat yaitu area bagian kapal yang terbenam dan area bagian kapal di atas permukaan air karena udara juga mempunyai faktor hambat pada kondisi tertentu.

$R_T$  digunakan untuk menentukan besar *Effective Horse Power* yang didefinisikan sebagai daya yang diperlukan suatu kapal untuk bergerak dengan kecepatan sebesar ( $V_s$ ) dan mampu mengatasi gaya hambat atau tahanan sebesar ( $R_T$ ) dan yang lebih penting untuk mengetahui seberapa besar daya dari *main engine* agar kapal yang akan dibuat tidak mengalami kelebihan daya yang besar atau justru tidak bias memenuhi kecepatan karena daya yang diprediksi tidak bias mengatasi besar tahanan kapal. Perhitungan ini sangat penting dan diharapkan seakurat mungkin dalam arti tidak kurang dan tidak lebih karena mempengaruhi aspek-aspek dari segi biaya, investasi, efisiensi, dll.

Kapal yang bergerak di media air dengan kecepatan tertentu, akan mengalami gaya hambat yang berlawanan dengan arah gerak kapal tersebut. Besar hambatan suatu kapal dipengaruhi oleh beberapa hal, yaitu luas permukaan basah, jenis fluida dan juga kecepatan kapal. Nilai hambatan meningkat apabila angka *Froude* mengalami kenaikan.

Hambatan total merupakan total dari keseluruhan gaya yang bekerja melawan gerakan kapal. Nilainya didapatkan pada kondisi air tenang. Untuk mengetahui nilai hambatan total secara praktis, diperlukan suatu rumusan pendekatan yang didapatkan dari suatu metode empiris. Pendekatan ini diperlukan karena persamaan yang menyertainya lebih sederhana dibandingkan dengan pendekatan dengan kondisi mendekati sebenarnya. Pada umumnya besaran hambatan kapal dapat dideskripsikan melalui koefisien non dimensional yang dapat mewakili, sebagai contoh hambatan total dapat ditulis sebagai koefisien  $C_T$  (ITTC, 1957)

$$C_T = \frac{R_T}{0.5\rho V S^2} \quad (2.16)$$

Besar hambatan total akan naik secara kontinu seiring bertambahnya kecepatan kapal, hingga pada kecepatan tertentu hambatan akan sangat besar pada kenaikan kecepatan yang tidak begitu signifikan. Secara umum hambatan total terdiri dari beberapa komponen diantaranya adalah hambatan viskos,



gelombang dan udara. Rumusan hambatan total dapat ditulis melalui persamaan

$$R_T = R_V + R_W + R_A \quad (2.17)$$

Sedangkan bersarkan standar *International Towing Tank Conference* (ITTC) hambatan total dibagi menjadi hambatan kekentalan dan hambatan gelombang, sedangkan hambatan udara diabaikan. Menurut Shoji (2009) hambatan total juga dapat dijabarkan ke dalam komponen sebagai berikut :

1. *Total resistance = water resistance + air resistance*
2. *Water resistance = frictional resistance + eddy resistance + wave making resistance*
3. *Water resistance = frictional resistance + residuary resistance*
4. *Water resistance = viscous resistance + wave making resistance*
5. *Residuary resistance = eddy resistance + wave making resistance*
6. *Viscous resistance = frictional resistance + eddy resistance*

Menurut Lewis (1998), hambatan total yang bekerja pada kapal dapat dibagi dalam empat komponen utama, yaitu:

1. Hambatan *viscous*, merupakan hambatan yang muncul karena adanya efek viskositas fluida. Secara teoritis, hambatan viskos atau sering dipresentasikan sebagai koefisien  $C_v$  memiliki 2 komponen utama, yaitu *friction* dan *pressure resistance* (Utama dan Molland, 2001). Komponen tersebut memiliki arah sumbu kerja yang berbeda, satu komponen bekerja pada arah mengikuti garis *streamline* lambung kapal membentuk sudut terhadap aliran normal fluida (arah *tangensial*) disebut sebagai *friction resistance*, sedangkan komponen lainnya bekerja sebagai gaya normal yang arahnya tegak lurus dengan lambung kapal *pressure resistance*.

2. Hambatan gesek (*friction resistance*), merupakan komponen hambatan yang terkait dengan gaya yang timbul akibat dari gesekan antara molekul. Penyebab utama hambatan ini adalah viskositas, kecepatan kapal dan luas permukaan basah. Rumus umum dari tahanan gesek kapal (ITTC, 1957).

$$R_f = \frac{1}{2} \rho C_f S V^2 \quad (2.18)$$

Hambatan ini sebenarnya merupakan bagian dari hambatan viskos (*viscous resistance*), namun dalam aplikasinya keduanya sering dianggap sama karena diabaikannya komponen lain yang menyertai hambatan viskos. Kondisi ini berlaku untuk pelat datar.  $C_f$  bekerja sepanjang lambung kapal dan menghasilkan gesekan antar molekul fluida, sehingga sering disebutkan bahwa  $C_f$  dipengaruhi oleh kekentalan dari fluida di daerah sekitar lambung, ditambah lagi pengaruh WSA, kecepatan kapal juga perlu dipertimbangkan untuk menghitung nilai  $C_f$ . nilai atau besaran  $C_f$  didapatkan melalui eksperimen yang panjang dimana eksperimen yang dilakukan mengansumsikan luasan daerah lambung kapal yang tercelup air sebagai luasan dari pelat datar yang besarnya dalah sama (ITTC, 1957). Sangat banyak formula pendekatan yang digunakan untuk menentukan nilai  $C_f$ , salah satu formula yang sering dipakai adalah ITTC 1957.

$$C_f = \frac{0.075}{(\log(Re)-2)^2} \quad (2.19)$$

Nilai  $C_f$  memiliki arah gerak searah tangensial dan dipengaruhi oleh besarya angka *Reynolds*. Aliran laminar diaplikasikan pada bilangan *Reynolds* yang kecil sedangkan untuk *Reynolds number* yang besar digunakan untuk pola aliran yang lebih kompleks yang disebut

turbulen *flow*. Besarnya bilangan *Reynolds* bergantung pada tingkat kemulusan permukaan lambung kapal serta bentuk aliran fluida. Untuk angka *Reynolds* kurang dari  $2 \times 10^5$  aliran fluida bersifat laminar, membentuk garis tipis yang mengalir teratur dengan arah *streamline* lambung kapal. Aliran fluida akan berubah menjadi *mixed* laminar and turbulen saat memasuki angka *Reynolds* pada range  $2 \times 10^5 - 3 \times 10^5$ . Kemudian aliran akan menjadi *full* turbulen untuk angka *Reynolds* melebihi  $3 \times 10^5$ . Aliran turbulen ditandai dengan arah gerakan molekul fluida yang acak satu sama lain. Konsep *boundary layer* masih dipakai namun yang membedakan adalah adanya transfer massa antar garis alir fluida. Secara konsep mekanisme aliran turbulen tidak dapat diperhitungkan secara pasti, tapi secara mendasar variasi kecepatan aliran fluida sifatnya sama dengan laminar *flow* (Carlton, 2007). Variasi kecepatan fluida akan menyebabkan terjadinya gesekan antara molekul fluida yang sifatnya menghambat laju dari kapal, hambatan ini dinamakan *frictional resistance*. Teori ini diasumsikan pada fluida yang mengalami laminar flow, yaitu fluida mengalir mengikuti bentuk *streamline* lambung kapal dan dianggap tidak ada massa yang berpindah melewati lapisan garis air fluida.

3. Hambatan *pressure*, komponen kedua dari hambatan viskos adalah komponen yang bekerja ke arah normal lambung kapal yang disebut hambatan *pressure*. Nilainya dipengaruhi oleh tekanan yang bekerja pada lambung kapal di bawah air. Besarnya tekanan pada bagian depan sangat besar karena lambung langsung berhadapan dengan fluida, kecepatan fluida akan bertambah ketika fluida mengalir melewati lambung kapal, dan ketika melewati ujung belakang fluida akan mengalami tekanan yang lebih kecil dibandingkan dengan tekanan di daerah haluan. Tekanan yang bekerja ke arah normal akan menghasilkan *eddy* di daerah belakang lambung kapal. Menurut Lewis (1998), *eddy making resistance* dibedakan

menjadi salah satu bagian yang berdiri sendiri dari hambatan total.

4. Hambatan gelombang (*wave making resistance*), merupakan komponen hambatan yang berkaitan dengan energi yang dikeluarkan secara terus-menerus oleh kapal pada gelombang yang terbentuk pada permukaan air. Hambatan gelombang disebabkan oleh gelombang disebabkan oleh gelombang yang dihasilkan oleh gerak kapal. Gelombang yang dihasilkan kapal memiliki 2 sistem gelombang, yaitu sistem gelombang transversal dan divergen, hal ini diungkapkan juga oleh Mollanf dkk (2004). Sistem gelombang transversal membentuk pola melintang tegak lurus dengan arah gerakan kapal. Kecepatan gerak gelombang ini sama dengan kecepatan gerakan kapal. Pada kecepatan rendah, beberapa puncak gelombang akan muncul di sepanjang lambung kapal, hal ini dikarenakan panjang gelombang akan muncul di depan lambung kapal. Hal ini dikarenakan panjang gelombang dari sistem ini lebih pendek daripada panjang kapal pada kondisi *low speed*. Apabila kecepatan dari kapal naik maka panjang gelombang dari sistem transversal ikut naik. Ketika panjang gelombang mendekati panjang kapal maka *wave making resistance* akan naik dengan sangat cepat. Hal ini dapat menjelaskan fenomena atau alasan meningkatkan hambatan total kapal ketika kecepatan kapal bertambah. Ketika kapal mencapai kecepatan yang mengakibatkan panjang gelombang pada *wave transversal system* sama dengan panjang kapal, dapat dikatakan bahwa kapal tersebut berada pada kondisi *hull speed*. Hambatan gelombang akan naik dengan sangat cepat ketika kapal berlayar di atas kecepatan *hull speed*. Sistem gelombang yang kedua adalah sistem gelombang divergen. Sistem gelombang ini terdiri dari dua gelombang yang dihasilkan oleh kontak fluida dengan haluan kapal dan juga kontak fluida oleh bagian buritan kapal. Interaksi dua gelombang tersebut akan

menghasilkan *hollow* dan *hump* pada kurva hambatan. Kondisi *hollow* akan terjadi apabila gelombang akibat haluan dan buritan berinteraksi pada fase yang sama. Fase yang sama adalah keadaan ketika 2 puncak gelombang bertemu pada waktu yang sama, sehingga timbul hasil superposisi gelombang yang sangat tinggi sehingga disebut sebagai *hump* atau bukit. Sedangkan 2 gelombang tersebut bertemu pada fase yang berlawanan, dalam hal ini puncak gelombang salah satu gelombang bertemu dengan lembah dari gelombang lainnya, maka akan terjadi pengurangan amplitude gelombang. Dan kondisi ini dinamakan sebagai *hollow* atau lembah (Carlton, 2007).

## 2.14 Mikrokontroler ARM

STM32F0 *discovery* merupakan modul berbasis mikrokontroler dengan arsitektur ARM 32 bit dengan prosesor STM32F051R8T6 dan termasuk sebuah ST-LINK/V2 sebagai alat debug. Prosesor ini mempunyai banyak fitur, diantaranya: I/O, *Timer*, ADC, DAC dan DMA. Kecepatan *clock* nya bisa mencapai 48Mhz sehingga memungkinkan untuk mengerjakan perintah program. Fitur utama ADC adapun sebagai berikut :

- Kinerja tinggi
  - Resolusi 12-bit, 10-bit, 8-bit atau 6-bit yang dapat dikonfigurasi
  - Waktu konversi ADC: 1,0  $\mu$ s untuk resolusi 12 bit (1 MHz), waktu konversi 0,93  $\mu$ s
  - Untuk resolusi 10 bit, waktu konversi yang lebih cepat dapat diperoleh dengan menurunkannya resolusi.
  - Kalibrasi sendiri
  - Waktu pengambilan contoh data yang dapat diprogram Penyelarasan data dengan koherensi data.
  - Dukungan DMA
- Daya rendah

- Aplikasi dapat mengurangi frekuensi PLCK untuk pengoperasian daya rendah sambil tetap menjaga Kinerja optimal ADC Misalnya, waktu konversi 1,0  $\mu$ s dijaga, terserah Frekuensi PCLK)
- Wait mode: mencegah ADC *overrun* dalam aplikasi dengan frekuensi rendah PLCK
- Modus *off* otomatis: ADC dimatikan secara otomatis kecuali selama aktif fase konversi Ini secara dramatis mengurangi konsumsi daya dari ADC.
- Saluran input analog
  - 16 input analog eksternal
  - 1 saluran untuk sensor suhu internal ( $V_{SENSE}$ )
  - 1 saluran untuk tegangan referensi internal ( $V_{REFINT}$ )
  - 1 saluran untuk memantau pin catu daya  $V_{BAT}$  eksternal.
- *Start-of-conversion* dapat dimulai:
  - Dengan perangkat lunak
  - Dengan pemicu perangkat keras dengan polaritas yang dapat dikonfigurasi (timer internal dari TIM1, TIM2, TIM3 dan TIM15)
- Modus konversi
  - Dapat mengonversi satu saluran atau bisa memindai urutan saluran.
  - Mode tunggal mengubah input terpilih satu kali per pemicu
  - *Continuous mode* mengubah input yang dipilih secara terus menerus
  - Mode terputus-putus
- Generasi interupsi pada akhir pengambilan sampel, akhir konversi, akhir urutan Konversi, dan dalam kasus pengawas analog atau acara yang terlalu terburu-buru
- Pengawas analog
- Persyaratan masukan tegangan ADC: 2,4 V sampai 3,6 V
- Kisaran masukan ADC:  $V_{SSA} \leq V_{IN} \leq V_{DDA}$

Adapun rumus pengonversian dari ADC ke tegangan adalah sebagai berikut :

Untuk resolusi 6 bit

$$V_{in} = V_{dd} \cdot \frac{ADC_{data}}{63} \quad (2.20)$$

Untuk resolusi 8 bit

$$V_{in} = V_{dd} \cdot \frac{ADC_{data}}{255} \quad (2.21)$$

Untuk resolusi 10 bit

$$V_{in} = V_{dd} \cdot \frac{ADC_{data}}{1023} \quad (2.22)$$

Untuk resolusi 12 bit

$$V_{in} = V_{dd} \cdot \frac{ADC_{data}}{4095} \quad (2.24)$$

### 2.15 Sensor Tekanan MPX5700AP

Sensor tekanan pada perancangan ini berfungsi sebagai sensor pengukur tekanan pada sistem pneumatik yang sudah dibuat. Sensor tekanan mampu melakukan pembacaan pada rentang tekanan 0-700 kPa. Pada penelitian ini digunakan Gambar sensor tekanan MPX5700AP dapat dilihat pada Gambar 2.14

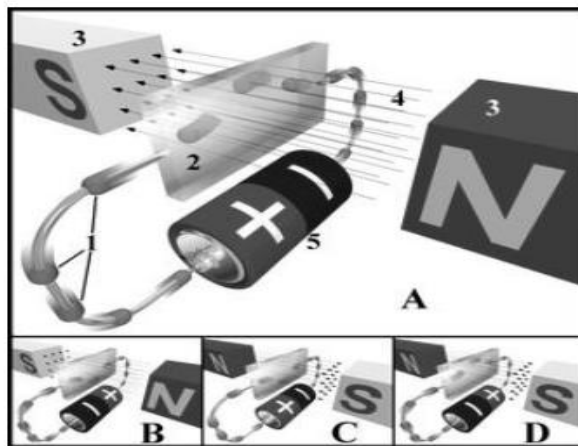


**Gambar 2.14** Sensor Tekanan MPX5700AP

### 2.16 Hall effect Sensor A3144

Sensor Efek-Hall dirancang untuk merasakan adanya objek magnetis dengan perubahan posisinya. Perubahan medan magnet yang terus menerus menyebabkan timbulnya pulsa yang kemudian dapat ditentukan frekuensinya, sensor jenis ini biasa digunakan sebagai pengukur kecepatan. Sensor Hall Effect digunakan untuk mendeteksi kedekatan (proximity), kehadiran

atau ketidakhadiran suatu objek magnetis (yang) menggunakan suatu jarak kritis. Pada dasarnya ada dua tipe *half effect Sensor*, yaitu tipe linear dan tipe on-off. Tipe linear digunakan untuk mengukur medan magnet secara linear, mengukur arus DC dan AC pada konduktordan fungsi -fungsi lainnya. Sedangkan tipe on-off digunakan sebagai limit switch, sensor keberadaan (presence sensors), dsb. Sensor ini memberikan logika output sebagai interface gerbang logika secara langsung atau mengendalikan beban dengan buffer amplifier.



**Gambar 2.15** Diagram *Hall Effect*

Keterangan gambar :

1. Elektron
2. Sensor Hall atau Elemen Hall
3. Magnet
4. Medan Magnet
5. Power Source

Gambar 2.15 diagram *hall effect* tersebut menunjukkan aliran elektron. Dalam gambar A menunjukkan bahwa elemen *Hall* mengambil kutub negatif pada sisi atas dan kutub positif pada sisi bawah. Dalam gambar B dan C, baik arus



listrik ataupun medan magnet dibalik, menyebabkan polarisasi juga terbalik. Arus dan medan magnet yang dibalik ini menyebabkan sensor *Hall* mempunyai kutub negatif pada sisi atas. *Hall Effect* tergantung pada beda potensial (tegangan *Hall*) pada sisi yang berlawanan dari sebuah lembar tipis material konduktor atau semikonduktor dimana arus listrik mengalir, dihasilkan oleh medan magnet yang tegak lurus dengan elemen *Hall*. Perbandingan tegangan yang dihasilkan oleh jumlah arus dikenal dengan tahanan *Hall*, dan tergantung pada karakteristik bahan. Dr. Edwin Hall menemukan efek ini pada tahun 1879. *Hall Effect* dihasilkan oleh arus pada konduktor. Arus terdiri atas banyak beban kecil yang membawa partikel-partikel (biasanya elektron) dan membawa gaya lorentz pada medan magnet. Beberapa beban ini berakhir di sisi – sisi konduktor. Ini hanya berlaku pada konduktor besar dimana jarak antara dua sisi cukup besar. Salah satu yang paling penting dari *Hall Effect* adalah perbedaan antara beban positif bergerak dalam satu arah dan beban negatif bergerak pada kebalikannya. *Hall Effect* memberikan bukti nyata bahwa arus listrik pada logam dibawa oleh elektron yang bergerak, bukan oleh proton. Yang cukup menarik, *Hall Effect* juga menunjukkan bahwa dalam beberapa substansi (terutama semikonduktor), lebih cocok bila kita berpikir arus sebagai *holes* positif yang bergerak daripada elektron.

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1 Pembuatan Sistem Mekanik ROV**

Pembuatan mekanik pada ROV ini dibuat dengan menggunakan alumunium yang mempunyai ukuran 1dm. untuk menyambung antara aluminium maka digunakan paku keling (*rivet*) sebagai penyambung antara aliminum yang satu dan yang lainnya. Adapun bahan yang digunakan untuk pembuatan mekanik.

#### **3.2 Pembuatan Motor Kedap Air**

Aktuator yang digunakan sebagai penggerak ROV adalah motor brushless AC yang dapat diatur kecepatannya dengan cara merubah sinyal PWM (*Pulse Width Modulation*). Pembuatan motor kedap air dilakukan dengan cara motor harus dimasukkan ke dalam pipa yang tertutup dan telah diberi *sealant*. Kemudian pembuatan *propeller* 3 blade menggunakan bahan PVC.

**Tabel 3.1** Komponen Motor Kedap Air yang Dibutuhkan.

<b>No</b>	<b>Nama Barang</b>	<b>Jumlah</b>
1	Motor AC 3000 RPM	4
2	<i>Propeller</i> PVC 3 daun	4
3	<i>Seallant</i>	4
4	Pipa 3 dm	4
5	Motor AC 30.000 RPM	2
6	Tutup pipa	12
7	Oil seal	6
8	<i>Couple</i> besi	2
9	<i>Gear mechanic</i>	2
10	<i>Silicon orange</i>	2
11	<i>Greace</i>	1
12	<i>Propeller</i> alumunium 2 daun	2
13	Kabel 2 pin 6 pin	6 meter
14	<i>Hall effect sensor</i>	2
15	Magnet	2



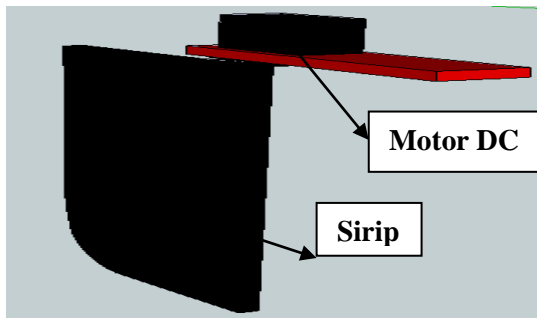
**Gambar 3.1** Komponen Pembuatan Motor Kedap Air

### 3.3 Pembuatan *Rudder* dan Kontrol

Pertama yang dilakukan dalam hal ini adalah membuat mekanik *airfoil* istilah yang sering digunakan pada pesawat terbang, setelah itu baru motor servo diberi *greace* agar kedap air, kemudian membuat kontroler servonya dan melakukan pengujian di dalam air. Pembuatan sirip ini digunakan untuk proses belok kanan atau kiri pada ROV.

**Tabel 3.2** Komponen *Rudder* yang Dibutuhkan.

No	Nama Barang	Jumlah
1	Servo	2
2	Mekanik PVC	2
3	Greace	1
4	Baut dan Mur	10
5	Kabel 3 pin	2
6	Mikrokontroler	1



**Gambar 3.2** Sistem Mekanik *Rudder*

### 3.4 Pembuatan *Remote Control*

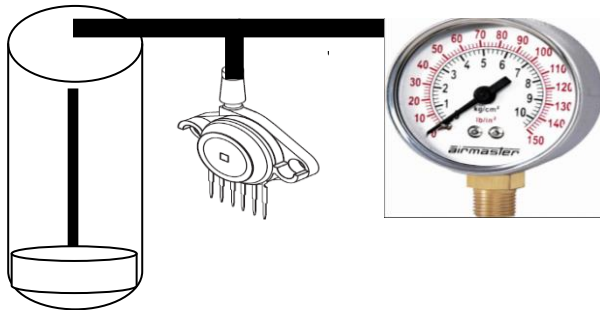
*Remote control* ini digunakan untuk mengatur kecepatan motor AC, mengatur arah putaran sirip ikan, dan menampilkan data suhu, serta kedalaman posisi ROV, serta indikator tegangan dari aki yang digunakan untuk mengubah dc ke ac menggunakan inverter dan mengatur motor yang digunakan untuk aktuator pada *ballast*.

**Tabel 3.3** Komponen *Remote Control* yang Dibutuhkan.

No	Nama Barang	Jumlah
1	STM32F0	1
2	Toggle	2
3	Multitune	1
4	LED	3
5	Potentiometer	3
6	Push Button	1
7	Switch on/off	2
8	Regulator 7805	1
9	Graphic LCD	2
10	Indikator 7 segmen	2
11	Box hitam	1
12	Baterai lippo 3 cell	2
13	Baterai kotak 1	1
14	PCB	1

### 3.5 Pembuatan Mekanik Sensor Tekanan MPX5700AP

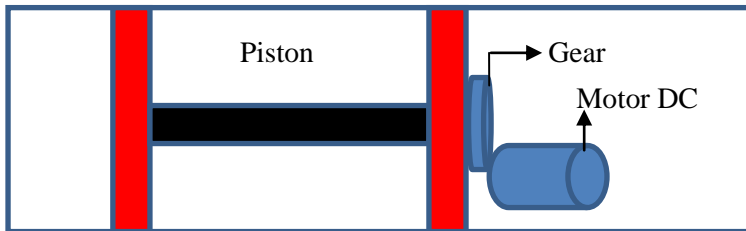
Pembuatan mekanik sensor tekanan ini digunakan untuk sebagai pengganti IMU (*Inertial Measurement Unit*) dengan cara, jika tekanan antara sensor depan dan belakang nilainya sama berarti posisi ROV dalam keadaan datar. Sistem mekanik pada sensor ini menggunakan sistem pneumatic yang nantinya udara akan melewati selang yang akan dibaca oleh sensor MPX5700AP Dengan menggunakan kalibrasi sensor *pressure gauge*. Tekanan ini akan bermanfaat juga untuk menentukan kedalaman dari ROV pada saat di dalam air.



**Gambar 3.3.**Sistem Mekanik Sensor Tekanan MPX5700AP

### 3.6 Pembuatan Mekanik *Ballast*

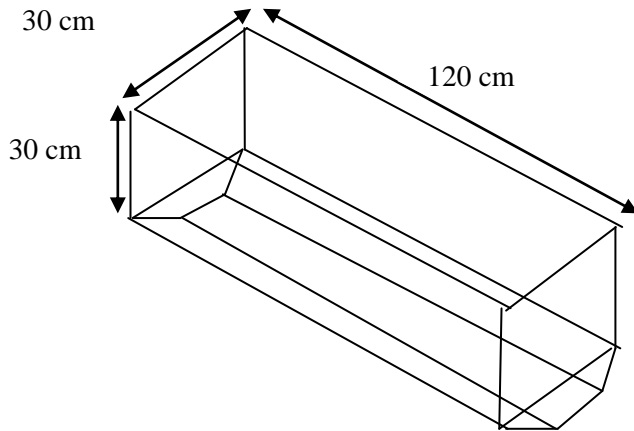
Pembuatan mekanik *ballast* dinamis digunakan untuk merubah volume ROV sehingga dapat terapung, melayang, dan tenggelam. Selain itu keunggulan mekanik ROV disini dapat mengurangi pergerakan air yang telah berada di dalam tabung dan mengunci agar tidak bergerak.



**Gambar 3.4.**Sistem Mekanik *Ballast* Statis

### 3.7 Pembuatan Ruang Kontrol

Ruang kontrol disini digunakan untuk tempat elektronik seperti aki 12 volt, *driver relay*, sensor tekanan. Tempat ini harus kedap air karena jika tidak kedap akan menimbulkan kerusakan pada komponen elektronik. Ruang kontrol in menggunakan bahan jenis PVC, dimana dibagi menjadi 3 bagian 1 ruang kontrol dan 2 ballast tank tengah yang bisa juga digunakan sebagai giroskop atau sensor keseimbangan.



**Gambar 3.5.**Desain Ruang Kontrol ROV

### 3.8 Pembuatan Desain ROV

Pembuatan desain ROV menggunakan software AUTOCAD 2016, dimana proses pembuatannya dimulai dari

1. Pembuatan Box
2. Pembuatan tempat motor pompa
3. 4 buah ballast
4. Mekanik atau kerangka
5. Pembuatan mekanik 4 buah motor AC dan 2 buah motor DC
6. *Propeller* masing-masing motor
7. Pembuatan mekanik sirip ikan

### 3.9 Pengambilan Data Suhu

Sensor yang digunakan untuk pengambilan data suhu adalah LM35. Pengambilan data suhu digunakan untuk mengetahui suhu air, dan data ini bisa digunakan untuk mengetahui kecepatan sumber bunyi di air. Sensor ini menggunakan tegangan referensi sebesar 3.3 volt DC yang dengan menggunakan resolusi 12 bit. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan air dicampur es batu dan kemudian akan diukur suhunya sampai es dalam air tersebut

mencair semua, setelah itu baru dipanaskan dengan menggunakan *heater*.

### **3.10 Pengambilan Data Tekanan**

Sensor yang digunakan untuk pengambilan data tekanan MPX5700AP Pengambilan data tekanan disini digunakan untuk mengetahui posisi kedalaman ROV serta dapat digunakan untuk mencari kecepatan sumber bunyi dalam air dengan menggunakan persamaan Leroy, Medwin dan Mackenzie.

### **3.11 *Software* yang Digunakan Untuk Membuat Rangkaian, Pemrograman dan Desain ROV**

Adapun *software* yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

- Software eagle disini digunakan untuk membuat suatu skematik elektronika yang nantinya akan di print ke kertas dan dicetak pada papan PCB.
- Untuk mendesain ROV sebelum disimulasikan di CFD maka harus digambar dengan menggunakan software AUTOCAD 2016.
- *Software* yang digunakan untuk bahasa pemrograman adalah Coocox IDE, STM32 Cube MX, STMStudio

## **BAB IV**

### **ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1 Analisa Data**

##### **4.1.1 Pembuatan Sistem Mekanik ROV**

Pembuatan mekanik pada ROV ini dibuat dengan menggunakan alumunium yang mempunyai ukuran 1dm. untuk menyambung antara aluminium maka digunakan paku keling (*rivet*) sebagai penyambung antara aliminum yang satu dan yang lainnya. Mekanik yang sudah dibuat berbentuk balok berukuran 152 cm x 90 cm x 90 cm. penggunaan alumunium dikarenakan tidak mudah karat. Mekanik ini dgunakan untuk tempat *ballast* samping, ruang komponen elektronika, motor AC bagian depan, motor AC bagian belakang & *rudder*.



**Gambar 4.1 Mekanik ROV**

##### **4.1.2 Pembuatan Motor Kedap Air**

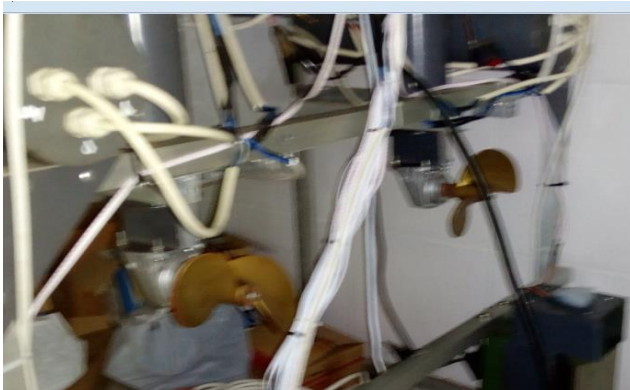
Aktuator yang digunakan sebagai penggerak ROV adalah motor brushless AC yang dapat diatur kecepatannya dengan cara merubah sinyal PWM (*Pulse Width Modulation*). Pembuatan motor kedap air dilakukan dengan cara motor harus dimasukkan ke dalam pipa yang tertutup dan telah diberi *sealant*. Kemudian pembuatan *propeller* 3 daun menggunakan bahan PVC. Motor



yang menggunakan 3 daun tersebut mempunyai kecepatan 3.000 RPM diudara. Karena massa ROV yang cukup besar maka ditambah 2 buah aktuator sebagai penggerak utama yang setiap motor mempunyai kecepatan 30.000 RPM. Agar mempunyai torsi yang cukup besar maka ditambahkan perbandingan gear dengan menggunakan mekanik motor *grinder*



**Gambar 4.2** Motor AC 3.000 RPM



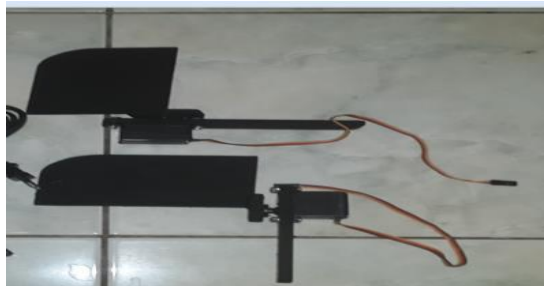
**Gambar 4.3** Motor AC 30.000 RPM

Di dalam motor AC terdapat sensor kecepatan yang bisa digunakan untuk mengetahui kecepatan motor baik di udara maupun di dalam air, hal ini sangat bermanfaat untuk mengetahui

gaya dorong yang ditimbulkan propeller dan bahkan pada saat disimulasikan.

#### 4.1.3 Pembuatan *Rudder*

Pertama yang dilakukan dalam hal ini adalah membuat mekanik *airfoil* istilah yang sering digunakan pada pesawat terbang, setelah itu baru motor servo diberi *greace* agar kedap air, kemudian membuat kontroler servonya dan melakukan pengujian di dalam air. Pembuatan sirip ini digunakan untuk proses belok kanan atau kiri pada ROV. Karena motor penggerak utama memiliki gaya dorong yang kuat sehingga menggunakan motor dengan torsi yang lebih tinggi supaya tahan terhadap gaya dorong yang diakibatkan mesin pendorong utama.



**Gambar 4.4** Mekanik *Rudder* ROV awal



**Gambar 4.5** Mekanik *Rudder* ROV yang Digunakan

Untuk mengetahui posisi *rudder* maka digunakan potentiometer yang dihubungkan ke mekanik. Sudut yang dihasilkan potentiometer berkisar antara  $0^\circ$  sampai  $330^\circ$ . Pada STM32F0 *discovery* ADC menggunakan resolusi 12 bit, artinya data 0 volt pada potentiometer menjadi 0 pada ADC sedangkan data 3,3 volt pada potentiometer menjadi 4095. Selanjutnya data ADC tersebut akan dirubah ke dalam satuan sudut yaitu derajat yang nantinya akan digunakan untuk mengetahui proses belok ke kanan maupun ke kiri pada ROV. Adapun data ADC dan perubahan sudut pada ROV.

**Tabel 4.1** Pengambilan Data Sudut pada Rudder

ADC	RUDDER (DERAJAT)	BUSUR (DERAJAT)	ERROR (%)
0	0.00	0	0
124	10.01	10	1
249	20.02	20	2
373	30.01	30	1
497	40.02	40	2
621	50.01	50	1
745	60.02	60	2
869	70.02	70	2
993	80.01	80	1
1117	90.02	90	2
1242	100.02	100	2
1366	110.02	110	2
1450	120.00	120	0
1614	130.00	130	0
1738	140.01	140	1
1862	150.01	150	1
1986	160.00	160	0
2110	170.02	170	2
2234	180.00	180	0

Berdasarkan data tabel diatas *error* yang diperoleh terbesar adalah sebesar 2%, hal ini di akibatkan karena perubahan pada

potentiometer tidak linear. Sehingga mengakibatkan data ADC mengalami sedikit kesalahan.

#### 4.1.4 Pembuatan Remote Control

*Remote control* ini digunakan untuk mengatur kecepatan motor AC, mengatur arah putaran rudder, dan menampilkan data suhu, tekanan, kedalaman posisi ROV, kecepatan motor, posisi *rudder*, serta indikator tegangan dari aki. Mikrokontroler yang digunakan adalah STM32F0 *Discovery* keluaran pertama ARM. Toggle digunakan untuk menyalakan dan menghidupkan semua actuator baik motor pada *ballast tank*, *valve*, *rudder*.



**Gambar 4.6** Remote Control ROV

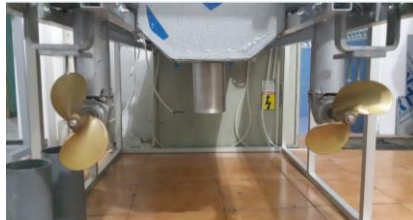


**Gambar 4.7** Tampilan Data Sensor pada LCD

Pada tampilan LCD tersebut terdapat data sensor berupa data suhu (LM35), tekanan (MPX5700AP), TDS, kecepatan motor, sudut yang dihasilkan oleh rudder ketika bergerak ke kanan dan ke kiri.

#### 4.1.5 Pembuatan Mekanik Sensor Tekanan MPX5700AP

Pembuatan mekanik sensor tekanan ini digunakan untuk sebagai pengganti IMU (*Inertial Measurement Unit*) dengan cara, jika tekanan antara sensor depan dan belakang nilainya sama berarti posisi ROV dalam keadaan datar. Sistem mekanik pada sensor ini menggunakan sistem pneumatic yang nantinya udara akan melewati selang yang akan dibaca oleh sensor MPX5700AP Dengan menggunakan kalibrasi sensor *pressure gauge*. Tekanan ini akan bermanfaat juga untuk menentukan kedalaman dari ROV pada saat di dalam air.



**Gambar 4.8** Mekanik dari sensor Tekanan



**Gambar 4.9** Sensor MPX5700AP Dan *Pressure Gauge*

Berdasarkan mekanik tersebut maka dilakukan pengukuran tekanan antara MPX5700AP dan *pressure gauge* yang analog. Adapun dari data sensor tersebut adalah sebagai berikut :

**Tabel 4.2** Data Pengukuran Tekanan

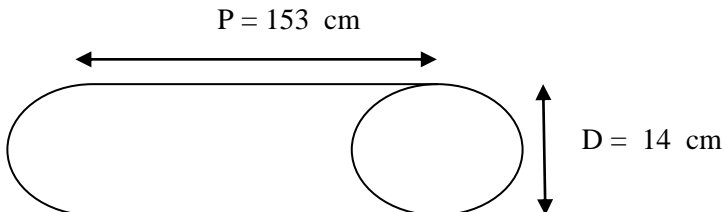
ADC	TEGANGAN (volt DC)	MPX5700AP	PG (kPa)	Error (%)
62	1.31	35.418	34.4738	94.42
78	1.63	67.222	68.9476	-172.56
93	1.898	135.216	137.8952	-267.92
109	2.286	207.42	206.8428	57.72
125	2.6	274.332	275.7904	-145.84
142	2.916	344.598	344.738	-14
160	3.242	378.23	379.2118	-98.18

berdasarkan tabel di atas terjadi error yang sangat besar yaitu - 267.92 % sampai 94 %. Hal ini dikarenakan pada sistem mekanik terjadi kerusakan, dan terdapat kebocoran.

#### 4.1.6 Pembuatan Mekanik *Ballast*

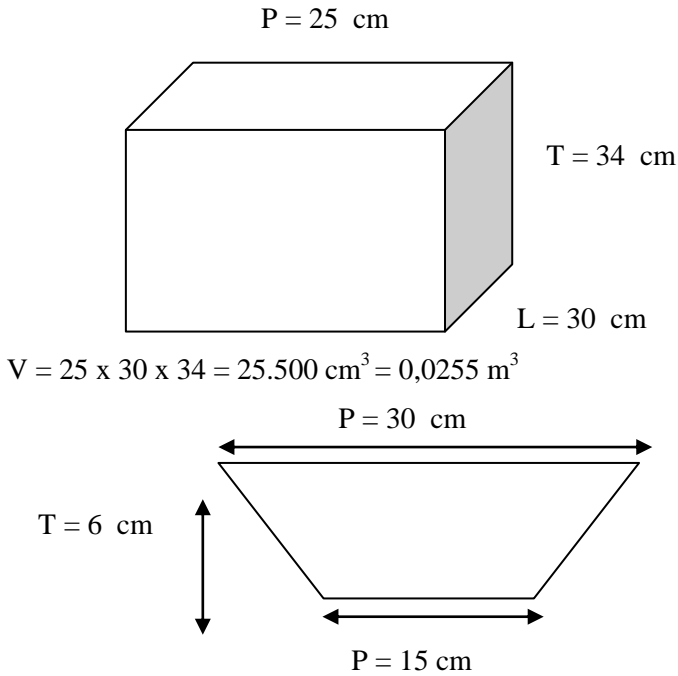
Pembuatan mekanik *ballast* dinamis digunakan untuk merubah volume ROV sehingga dapat terapung, melayang, dan tenggelam. Selain itu keunggulan mekanik ROV disini dapat mengurangi pergerakan air yang telah berada di dalam tabung dan mengunci agar tidak bergerak.

Menghitung volume *ballast* statis :



$$\text{Volume} = \frac{22}{7} \times 7 \times 7 \times 153 = 23.562 \text{ cm}^3 = 0,023562 \text{ m}^3$$

$$\text{Volume total 1} = 4 \times 0,023562 = 0,094248 \text{ m}^3$$



**Gambar 4.10** *Ballast Statis*

Panjang 25 cm sehingga volume :

$$V = ((15+30)/2) \times 25 = 3.375 \text{ cm}^3 = 0,003375 \text{ m}^3$$

Volume total ballast pada saat tidak terisi air adalah :

$$V_{\text{total}} = 0,094248 + 2 \cdot (0,0255 + 0,003375) = 0,151998 \text{ m}^3$$

#### 4.1.7 Pembuatan Ruang Kontrol

Ruang kontrol disini digunakan untuk tempat elektronik seperti aki 12 volt, *driver relay*, serta sensor tekanan. Tempat ini harus kedap air karena jika tidak kedap akan menimbulkan kerusakan pada komponen elektronik. Ruang kontrol in menggunakan bahan jenis PVC, dimana dibagi menjadi 3 bagian

1 ruang kontrol dan 2 ballast tank tengah yang bisa juga digunakan sebagai giroskop atau sensor keseimbangan



**Gambar 4.11** Ruang Kontrol

#### 4.1.8 Hasil Kalibrasi Sensor Suhu

Adapun hasil kalibrasi sensor suhu menggunakan LM35, yang mana pengukuran dilakukan mulai suhu air 20°C-50°C. Data yang diambil adalah data ADC pada STM32F0 dengan menggunakan resolusi 12 bit yang artinya tegangan 0 volt sama dengan 0 bit, dan tegangan 3,3 volt sama dengan 4096.

**Tabel 4.3** Hasil Kalibrasi Sensor Suhu

ADC	tegangan (mv)	LM35 (celcius)	Termometer digital (celcius)	Error (%)
0	0	0	0	0
20	100	10.02	10	2
41	200	20.01	20	1
52	250	25	25	0
62	300	30	30	0
72	350	35	35	0
82	400	40.01	40	1
92	450	45.02	45	2
102	500	50.02	50	2



Berdasarkan hasil di atas nilai error yang didapatkan sebesar 2 %. Hal ini dikarenakan rangkaian yang digunakan untuk membaca sensor sesuai yang dicantumkan di *datasheet* sensor.

#### **4.2 Pembahasan**

Berdasarkan pembuatan mekanik sensor serta proses pengkalibrasian yang harus diperbaiki adalah sensor tekanan yaitu pada sistem mekaniknya *error* yang dihasilkan karena adanya kebocoran pada *seal*. Pengambilan data sensor tekanan dengan menggunakan alat hidrolik yang dihubungkan dengan mekanik yang berbentuk tabung pneumatik tersebut. Untuk sensor suhu LM35 data yang diperoleh dengan cara menggunakan sebuah wadah yang awalnya air dengan dicampur es, sampai semua es menjadi air kemudian dipanaskan menggunakan *heater* hingga 50°C. berdasarkan data suhu yang dihasilkan sudah bisa digunakan untuk menentukan kecepatan bunyi dalam air karena *error* yang dihasilkan masih kecil. Sedangkan data pada *rudder* bisa digunakan pada saat proses menyelam,

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan Data yang diperoleh maka dapat disimpulkan :

- ▶ *Rudder* pada ROV mampu bergerak antara  $0^{\circ}$  sampai  $180^{\circ}$
- ▶ Pada sensor MPX5700AP masih mengalami *error* yang sangat besar yaitu antara yaitu -267.92 % sampai 94 %
- ▶ Volume total *ballast* pada saat tidak terisi air 0.081312 m<sup>3</sup>
- ▶ Nilai *error* yang dihasilkan pada sensor LM35 sebesar 2%.

#### **5.2 Saran**

Untuk proses pengambilan data tekanan sebaiknya mekanik harus diperbaiki agar tidak terjadi *error* yang sangat besar. Untuk memperkecil nilai *error* bias juga dilakukan dengan cara menggunakan rangkaian filter analog maupun di proses algoritma pemrogramannya.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR PUSTAKA

1. Urick, R.J, 1983. *Principle of Underwater Sound 3<sup>rd</sup> Edition*. McGraw-Hill
2. B.J Benedictus , 2017. *Analisis Variasi Posisi Rudder Terhadap Efektivitas Manuver Kapal*, Tugas Akhir
3. Sergio L. Fraga, Joao B. Sousaa, Anouck Girarda, Alfred Martins, “An Automated Maneuver Control Framework for a Remotely Operated Vehicle“, *The University Of California at Berkeley, Portugal*.

## BIODATA PENULIS



**Robby Kurniawan**, dilahirkan di Pamekasan, Jawa Timur, 17 Juli 1991. Menempuh pendidikan secara formal dimulai dari TK Pertiwi Waru Pamekasan, SDN Waru Barat 1 Pamekasan, SMP Negeri 1 Waru Pamekasan, SMA Negeri 1 Pamekasan, dan lulus pendidikan diploma dari Insitut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya, dengan mengambil bidang studi D3 Teknik Instrumentasi, Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknologi

Industri. Saat ini, penulis telah menyelesaikan studi lintas jalur program sarjana (S1) pada program studi Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya. Apabila terdapat saran, kritik, atau pertanyaan tentang Tugas Akhir yang telah diselesaikan oleh penulis dapat disampaikan melalui *e-mail* : [robby17.tf@gmail.com](mailto:robby17.tf@gmail.com).

## LAMPIRAN A

### STM32F0 Discovery

Board STM32F0 Discovery akan membantu kita dalam mengeksplorasi fitur STM32F0 Cortex-M0 serta mengembangkan aplikasi secara mudah. Board ini menyediakan seluruh kebutuhan, baik untuk pemula maupun pengguna tingkat lanjut, untuk memulai secara cepat. Menggunakan chip mikrokontroler STM32F051R8T6, serta dilengkapi dengan ST-Link/v2 embedded debugging tool, sejumlah LED dan push button. Untuk memprogram, dapat digunakan sejumlah software, seperti Keil MDK ARM, IAR Embedded Workbench for ARM, Atollic TrueSTUDIO, MikroC, Cocox, juga sejumlah software bebas.



### Fitur :

- STM32F072RBT6 mikrokontroler menampilkan 128 kb flash memory, 16 kb SRAM dalam paket lqfp64
- On board ST-LINK/v2 dengan beralih menggunakan kit sebagai standalone ST-LINK/v2 (Dengan konektor SWD untuk pemrograman dan debugging)
- Papan power supply: melalui usb bus atau eksternal 5 v tegangan suplai
- Aplikasi eksternal power supply: 3 v dan 5 v
- L3GD20, st mems sensor gerak, 3-axis gyroscope keluaran digital
- Satu linear sensor sentuh atau empat tombol sentuh
- Enam leds:
- LD1 (merah/hijau) untuk komunikasi usb

- LD2 (red) untuk 3.3 v power on
- Empat pengguna leds: LD3 (orange), LD4 (hijau), LD5 (merah) dan LD6 (Biru)
- Dua pushbuttons (user dan reset)
- Pengguna usb mini-b konektor
- Rf konektor daughterboard eeprom
- Ekstensi header untuk lqfp64 i/os untuk koneksi cepat ke papan prototyping dan mudah menyelidik

### Sensor Suhu LM35



1. Memiliki sensitivitas suhu, dengan faktor skala linier antara tegangan dan suhu 10 mV/°C, sehingga dapat dikalibrasi langsung dalam *celcius*.
  2. Memiliki ketepatan atau akurasi kalibrasi yaitu 0,5°C pada suhu 25 °C seperti terlihat pada gambar 2.2.
  3. Memiliki jangkauan maksimal operasi suhu antara -55 °C sampai +150 °C.
  4. Bekerja pada tegangan 4 sampai 30 volt.
  5. Memiliki arus rendah yaitu kurang dari 60 µA.
  6. Memiliki pemanasan sendiri yang rendah (*low-heating*) yaitu kurang dari 0,1 °C pada udara diam.
  7. Memiliki impedansi keluaran yang rendah yaitu 0,1 W untuk beban 1 mA.
  8. Memiliki ketidaklinieran hanya sekitar  $\pm 1/4$  °C.
- Kelebihan:
    - a. Rentang suhu yang jauh, antara -55 sampai +150 °C

- 
- Figure 1 is a line graph showing the temperature error (in °C) versus the temperature (in °C) for LM35 and LM35A precision centigrade centi-grade thermometers. The x-axis represents Temperature (°C) from -75 to 175, and the y-axis represents Temperature Error (°C) from -2.0 to 2.0. The graph displays five curves: two for LM35 (top and bottom), two for LM35A (middle and second from bottom), and a 'TYPICAL' curve near zero. The LM35 curves show a V-shape with a minimum error at 25°C, while the LM35A curves are relatively flat. The LM35 curves have a maximum error of approximately ±1.5°C at -75°C and -1.5°C at 175°C. The LM35A curves have a maximum error of approximately ±0.5°C at -75°C and -0.5°C at 175°C.

Technical drawing of a 6-pin connector with dimensions in mm and inches. The drawing shows a side view and a top view. Key dimensions include a total width of 29.85 mm (1.175 inches) and a pin pitch of 2.54 mm (0.1 inches). The drawing also shows a 6x0.84 mm array of pins and a 1.73 mm (0.068 inches) width for the pin array. The drawing includes a 'T SEATING PLANE' and a 'PIN 1' indicator. The drawing is labeled '2.54' and '1.63 1.22'.

Pin 1: Signal out (0.2 volts to 4.9 volts)



Pin 2: Ground  
Pin 3: 5 Volts  
Pin 4: No connection  
Pin 5: No connection  
Pin 6: No connection

Port: Male, 0.194" (4.9276mm) Tube

Operating Temperature: -40°C ~ 125°C

Package: Case6-SIP, Top Port

Voltage Supply: 4.85 V ~ 5.35 V

MPX5700 Series

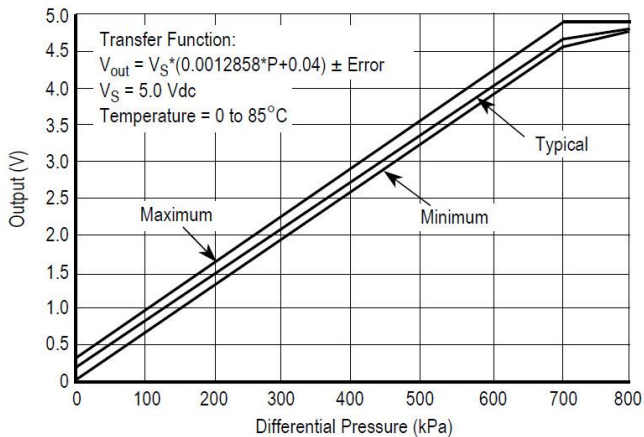
0 to 700 kPa (0 to 101.5 psi) - 15 to 700 kPa (2.18 to 101.5 psi) -  
0.2 to 4.7 V Output

### Features

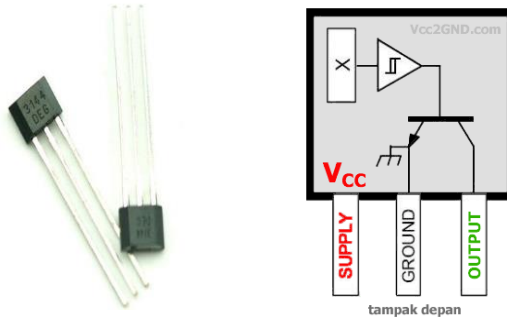
- Differential and Gauge Applications Available
- 1.4% Maximum Error Over 0° to 85°C
- Patented Silicon Shear Stress Strain Gauge
- Temperature Compensated Over -40° to +125°C
- Offers Reduction in Weight and Volume Compared to

### Existing Hybrid Modules

- Durable Epoxy Unibody Element



## Hall Effect Sensor A3144



### dan spesifikasi dari komponen elektronika ini:

- Rentang catu daya yang lebar, dari 4,5 Volt hingga 24 Volt
- Tipe Hall efek: unipolar (bila Anda membutuhkan tipe bipolar, toko komponen elektronika kami menjual **Honeywell SS41F** yang merupakan Digital Bipolar Hall Effect Sensor).
- Keluaran tipe open-collector yang kompatibel dengan TTL, maksimum 25 mA
- Responsif, hanya membutuhkan waktu kurang dari 0,2  $\mu$ s (tipikal, maksimum 2  $\mu$ s)
- $B_{op} = 75 \sim 350$  gauss,  $B_{rp} = 50 \sim 330$  gauss, dengan  $B_{hys}$  (histeresis) tipikal 55 gauss (catatan: 1 gauss identik dengan 100 mikrottesla)
- Memiliki proteksi terhadap polaritas terbalik
- Dapat diaktivasi dengan magnet berdaya rendah
- Stabilitas terhadap suhu yang sangat baik, dapat digunakan pada aplikasi otomotif dan mesin industri
- Tahan terhadap tekanan fisik, dapat diandalkan dengan rancangan *solid-state*.
- Berukuran kecil, mudah disisipkan sebagai *magnetic sensor probe* di berbagai aplikasi.

## LAMPIRAN B

### Data Kalibrasi *Rudder* pada ROV

ADC	Rudder (Derajat)	Busur (Derajat)	Error (%)
0	0	0	0
124	10.01	10	1
249	20.02	20	2
373	30.01	30	1
497	40.02	40	2
621	50.01	50	1
745	60.02	60	2
869	70.02	70	2
993	80.01	80	1
1117	90.02	90	2
1242	100.02	100	2
1366	110.02	110	2
1450	120	120	0
1614	130	130	0
1738	140.01	140	1
1862	150.01	150	1
1986	160	160	0
2110	170.02	170	2
2234	180	180	0

**Data Kalibrasi Tekanan sensor MPX5700AP**

<b>ADC</b>	<b>TEGANGAN (volt)</b>	<b>SENSOR (kPa)</b>	<b>PG (kPa)</b>	<b>PG (Psi)</b>	<b>Error</b>
62	1.31	35.418	34.4738	5	94.42
78	1.63	67.222	68.9476	10	-172.56
93	1.898	135.216	137.8952	20	-267.92
109	2.286	207.42	206.8428	30	57.72
125	2.6	274.332	275.7904	40	-145.84
142	2.916	344.598	344.738	50	-14
160	3.242	378.23	379.2118	55	-98.18

**Data Kalibrasi Sensor Suhu LM35**

<b>ADC</b>	<b>Tegangan (millivolt)</b>	<b>LM35 (celcius)</b>	<b>Termometer Digital (celcius)</b>	<b>Error (%)</b>
0	0	0	0	0
20	100	10.02	10	2
41	200	20.01	20	1
52	250	25	25	0
62	300	30	30	0
72	350	35	35	0
82	400	40.01	40	1
92	450	45.02	45	2
102	500	50.02	50	2